

ELEMENTI

DI

FISICA SPERIMENTALE

E DI

METEOROLOGIA.

TOM. II.

ELEMENTI

DI



SPERIMENTALE

E DI

METEOROLOGIA



DEL SIG. POUILLET,

DELL' ACCADEMIA REALE DELLE SCIENZE DELL' ISTITUTO DI FRANCIA; PROFESSORE DI FISICA ALLA FACOLTÀ DELLE SCIENZE DI PARIGI; PROFESSORE DI FISICA APPLICATA ALLE ARTI, AL CONSERVATORIO REALE DELLE ARTI E MESTIERI, AMMINISTRATORE DI QUESTO STABILIMENTO, MEMBRO DELLA SOCIETÀ FILOMATICA, DEL CONSIGLIO DELLA SOCIETÀ D' INCORAGGIAMENTO, ecc. ecc.

OPERA ADOTTATA, DAL CONSIGLIO REALE DELLA PUBBLICA ISTRUZIONE, PER L' INSEGNAMENTO DELLA FISICA NEGLI STABILIMENTI DELL' UNIVERSITÀ.

PRIMA VERSIONE ITALIANA

Sulla terza edizione del 1837

DI G. FAZZINI

CON NOTE.

Verus experientiæ ordo primo lumen accendit,
deinde per lumen iter demonstrat.

BACONE *Nov. Or.*

TOMO SECONDO.



NAPOLI

M. AVALLONE TIPOGRAFO

1839.

ELEMENTI
DI FISICA SPERIMENTALE
E
DI METEOROLOGIA.

LIBRO TERZO

MAGNETISMO ED ELETTRICITÀ

PRIMA SEZIONE

DEL MAGNETISMO.



CAPITOLO PRIMO.

Dell' azione delle calamite sopra sè stesse e sulle sostanze magnetiche.

137. Nel seno della terra e spesso ancora nella superficie del suolo trovansi alcune sostanze aventi la proprietà d' attrarre il ferro : le quali, di qualunque forma o struttura siano, *naturali calamite* son dette ; prima si chiamavano *pietre di calamita* , ch' esse offron di fatto nella loro struttura un' apparenza pietrosa , anzichè metallica. Ci ha poi di calamite *debolissime* , cioè che con un gran volume esercitano sul ferro un insensibil attraimento; poste a contatto con minuta limatura, appena alcune particelle possono sollevarne: ma ce ne ha di quelle *potenti* in modo, che bastano di mantener sospese delle masse di meglio di cinquanta od anche di cento chilogrammi.

Per mostrare la forza attrattiva che ci ha tra 'l ferro e la calamita posson farsi le seguenti sperienze.

1° Spingendosi una calamita da un de' suoi estremi in limatura di ferro, si vedrà le particelle metalliche appiccicarsi alla superficie di essa, e l'une attaccarsi con le altre formando una maniera di capellatura lunga parecchie linee: la qual aderenza delle particelle tra esse e 'l lor ordinamento è un fenomeno da notarsi, noi vi torneremo su; standoci per ora contenti a considerarlo come una semplice prova dell' attraimento.

2° Presentandosi alla calamita pezzi di ferro più o meno, secondo la sua forza, voluminosi, non appena giuntivi alla distanza di qualche millimetri si osserveranno diventare più leggieri: e son trascinati, e si precipitano sulla superficie di essa per restarvi appesi; e vi sarà dopo mestieri uno sforzo più o men considerevole per istrapparneli.

3° Sospendendosi una picciola palla di ferro ad un filo flessibile, ed accostandovi a poco a poco la superficie della calamita, si vedrà questo picciolo pendolo magnetico sensibilmente deviare dalla sua direzione verticale. In questo modo si può anche alcuni essenziali distintivi conoscere di essa forza attrattiva, e comprovare: 1° che la si esercita in lontananza; 2° attraverso dell' aria, del voto e di tutt' i corpi, eccetto se siano ferro; 3° che la diminuisce, siccome la distanza cresce.

Essendo tutte le attrazioni scambievoli, bisogna concludere che, se la calamita attirasi il ferro, siane anch' essa con la medesima energia attirata e secondo le stesse leggi. Del rimanente questa necessaria verità può anche verificarsi direttamente con esperienze inverse delle precedenti: sospendendo per renderla mobile, la calamita, e facendo su di essa operare dei pezzi di ferro in diverse distanze.

A questa forza attrattiva, siccome distinta da tutte le altre forze naturali, si dà un nome particolare, chiamandola *forza magnetica*, dalla parola μάγνης, nome presso i Greci della pietra di calamita: chè gli antichi avean qualche conoscenza delle sue proprietà: Platone in molti dialoghi ne parla, e per raccorre le prime nozioni su tale obietto trasmesseci bisogna risalire infino al tempo di Pitagora.

158. *Ogni calamita ha una linea media e due poli.* — Il ferro sembra che rispetto alla calamita sia ciò, che sono i corpi gravi rispetto al globo della terra: la massa del globo attirasi i corpi in tutt'i versi e li preme sulla sua superficie. Tentiamo di vedere se lo stesso accade della calamita, e se da tutt' i punti del suo contorno la esercita una simile azione per sollecitare le particelle ferree, ed attrarsele al centro. Per il che ripigliamo il *pendolo magnetico*, cioè la picciola palla od il picciol filo di ferro appeso ad un filo di seta. Tenendo la calamita nella stessa distanza dal pendolo, incontanente si scorgerà che certi punti della sua superficie gl'imprimono grande deviamento, ove degli altri niuno ne producono ovvero insensibile; ma sopratutto havvi due regioni opposte che mostrano un'azione assai viva, ed il menomo effetto si scorge nell'intervallo che le divide. Al risultamento medesimo siam tratti o sia che per detta sperienza adoperiamo una calamita naturale con la sua irregolare figura, ovvero una calamita artificiale della forma di un cilindro o di un prisma allungato. La differenza in quest'ultimo caso è più manifesta, ed agevolmente si vede che le sezioni trasversali che avvicinano il mezzo della calamita non operano affatto sul pendolo, mentre l'estreme parti operano con molta forza. Adunque si può tracciare nella superficie di una calamita e verso il mezzo della sua lunghezza una linea, i cui punti non abbiano veruna azione attrattiva: ed è appunto quella che noi diciamo *linea neutra*, o *linea media*; essa divide la calamita in due parti, da noi chiamate i due *poli* della stessa. Parola da noi adottata pur in due altri significati diversi: noi l'usiamo per dinotare solamente le parti delle superficie più lontane dalla linea media e sulle quali l'attrazione è maggiore; non che per designare un punto ideale, che fia concepito nell'interno della calamita, quasi come il centro di gravità nell'interno de' corpi, o nella massa del globo terrestre, che a sè gli attira; perchè una particella di ferro non è spiuta solo dal punto di calamita, a cui si va ad appiccicare, ma sì da tutta la parte ch'è dal lato medesimo della linea media, e la risultante di tutt'esse attrazioni è in un dato punto applicata che

appelleremo il polo di questa porzione della calamita. Sempre agevolissimo fia di scernere in qual di questi tre significati intenderemo la parola *polo* applicata. In tutti i casi si scorge che la calamita, ha una linea media, e due poli.

Questa fondamentale proposizione può dimostrarsi anche con altre sperienze più facili e decisive. Se si rotola una calamita in limatura di ferro, si coprirà di fili più o meno allungati, che all' occhio mostrano inegual attraimento de' vari punti della sua superficie. La qual disposizione è rappresentata (*fig. 228*) da una calamita naturale e da un' altra artificiale (*fig. 229*). Negli estremi e ed e' le filamenta di limatura son lunghissime e drizzate perpendicolarmente alla superficie; sulle sezioni meno estreme diventan più corte, ed incominciano ad inclinarsi, come cansassero gli estremi per accostarsi al mezzo; finalmente sulla media sezione $m\ m'$, niuna particella di limatura rimanvi attaccata, le filamenta che vi si veggiono prendono origine dall' una e dall' altra parte di questa linea, e sembra la lascino per congiugnersi ed applicarsi alla superficie della calamita; mm' è la linea media; le due metà p e p' son i *poli* della calamita: dandosi talvolta questa denominazione, come s'è detto, ai due estremi e ed e' dove l' azione è maggiore: ed altre fiate ai due punti p e p', che posson considerarsi come i centri dell' attrazione.

Analoghi effetti si producono mettendo sur una calamita un foglio di cartone liscio, nel qual si fa cadere da un setaccio della fina limatura; la quale, con leggieri urti impressi al cartone si dispone in curve irregolari rappresentate (*fig. 230*) e che disegnano la figura della calamita. Questa sperienza fa meglio delle precedenti vedere come i filuzzi di limatura, partendo da' due lati della media mm' passan su questa linea per ricongiungersi; offrendo in tal modo una prova che l' attrazion della calamita si esercita a traverso della sostanza del cartone.

Potendosi rompere le calamite o tagliarsi secondo la linea media, pare a prima vista che le due porzioni risultantine debban di necessità non essere comprese nella proposizione, di cui si tratta. Si potrebbe anche supporre che

divise tra loro, esse perdan la lor magnetica proprietà; ma punto non si concepisce che, se qualcosa ne serbano, possano avere una linea media e due poli. L'esperienza se ne può agevolmente fare. E più in là noi vedremo che con durissimo acciaio temperato posson farsi calamite, le quali frangono come vetro. Prendiamo una calamita di questa spezie, dividiamola secondo la media linea, ed immergiamo nella limatura ciascuna di esse metà per osservare le modificazioni che hanno provate: non senza stupore troveremo che ciascheduna di esse è una compiutissima calamita, avente i suoi due poli e la sua linea media nel mezzo. Nuovamente rompendo, le metà di esse metà offriranno gli stessi fenomeni, e potranno spignersi quanto più si vuole tali suddivisioni, senza che si trovi alcun limite a siffatta proprietà: gli ultimi frammenti saranno calamite compiute, aventi come la prima una linea media e due poli. Del che appresso noi vedremo la ragione; ma qui gioverà di accennarla per far intendere tutta la generalità del principio, di cui si tratta, e per così mostrare l'assoluta impossibilità in cui noi siamo di formare una calamita che abbia un sol polo.

159. *I poli del nome stesso si respingono, e quelli di nomi contrari s' attraggono.*—La figura 234 rappresenta una calamita appesa orizzontalmente per mezzo di un cappello di carta o di metallo e di un filo non torto: a ciascun de' suoi poli *a* e *b* si presenti lo stesso polo l' un dopo l'altro di una simil calamita; il polo *a* è attirato, il polo *b* respinto; epperò si dice ch' essi due poli *a* e *b* son di *nomi contrari*, dappoichè operano nel verso contrario sul polo stesso lor presentato. Se i due poli di questa prima calamita sono di nomi contrari, si dee naturalmente supporre che que' della seconda lo sian del pari, e che lo stesso è di tutte le possibili calamite. Di fatto, rivolgendosi questa seconda calamita per farla operare con l'altro suo polo sulla calamita appesa, si scorgerà che i poli *a* e *b* provan di mano in mano contrari effetti: *a* respinto, attirato *b*; adunque i due poli della calamita libera, che si ha in mano, sono anch'essi di nomi contrari, dappoichè l'uno attrae ciò che l'altro respigne e *vice versa*. Ogni

libera calamita offre il fenomeno stesso. ***Poli del nome stesso*** noi diremo quei delle diverse calamite che operano della maniera medesima, sia sul polo *a*, sia sul polo *b* della calamita sospesa. Marcati questi poli una volta su parecchie calamite per ben discernerli, appendasene una per far agire le altre su di essa, e si vedrà che tutt' i poli del nome stesso respingonsi, ove tutti gli altri di nomi contrari si attirano.

Adunque, dall'una e l'altra parte della linea media, nelle due metà di una calamita riseggon due forze, che dapprima ci sembravano le stesse, perchè agivano dello stesso modo sul ferro, e sono in realtà due opposite forze, che operano in contrario verso sulle calamite, attraendo l'una ciò che l'altra respigne. La linea media è il confine di queste due forze rivali; ed è il passaggio dall'una all'altra, il che ci dà la ragione della neutralità che serba.

160. *Le azioni magnetiche si possono attribuire ad un fluido particolare.* — Tentandosi di risalire all'origine delle forze che producono i magnetici fenomeni, presto si ravvisa che non sono, come la gravità, una proprietà inerente alla materia ponderabile. L'analisi chimica ha dimostrato che le calamite naturali non sono altro che ossidi di ferro o miscugli di ossidi di ferro a diversi gradi di saturità; adunque l'ossigeno ed il ferro sono i due soli elementi ponderabili, ch'entrino nella composizione di questi singolari corpi. Or nè l'un nè l'altro di questi due elementi non avendo la costante proprietà di esercitar azioni simili alle magnetiche, poco probabil sembra che le lor molecole, combinandosi, acquistino l'essenziali proprietà, che non aveano prima; dappoichè nella materia ponderabile mai non si vede che la forma, l'ordine e la disposizion delle molecole, dia origine a forze novelle, che a notabili distanze possano esercitarsi. D'altra parte le forze inerenti alla materia ponderabile ben si possono aumentare o diminuire o modificar in mille maniere, ma non mai posson distruggersi o disparire: mentre le forze magnetiche nelle calamite sol accidentalmente appariscono, potendosi distruggere e riprodurre ad arbitrio. Se n'ha la pruova facendo riscaldare una calamita fino alla temperatura rossa; con tal opera-

zione la non perde niente de' suoi materiali elementi, ed intanto perde tutte le sue proprietà magnetiche. Dopo raffreddata la è precisamente come prima riguardo alla materia: ma riguardo al magnetismo non ce n'è assolutamente altro, dappoichè veruna azione non esercita più sul ferro. Si può appresso, come vedremo, restituirle le proprietà sue magnetiche, senza niente di ponderabile aggiugnervi o toglierví.

E per siffatte ragioni non che per altre risultanti dalla totalità de' fenomeni siamo indotti a considerar il magnetismo, siccome un fluido di una natura particolare, sparso nella massa pesante dell'ossido di ferro, che forma la calamita. E conciosiachè ci è noto che hanvi due forze magnetiche opposte, dobbiamo anche concluderne che sonvi due fluidi contrari, uno che *predomina* nell' un de' poli, e l' altro che *predomina* nell' altro. I poli dello stesso nome avranno in tutte le calamite lo stesso fluido predominante, e siccom' essi respingonsi, ne concluderemo che ogni fluido si respigne da sè: i poli di contrari nomi fluidi diversi avranno, e siccome essi attraggonsi, concluderemo che l' un fluido attrae l' altro. Sicchè giungiamo a questo diffinitivo risultamento, che sonvi due fluidi magnetici, ognun de' quali respigne ed attrae l'altro.

Siffatti fluidi deggiono esister parimente nel ferro, che, se fossero distinti dalla materia ponderabile, si potrebbe presumere che l' azione, che si esercita sul ferro, non si eserciti sulle molecole materiali del ferro, ma sì sopra i fluidi magnetici contenuti negl'interstizi di esse molecole. Adunque non abbiam torto d'investigar il fluido magnetico nel ferro, e di tentar le sperienze, che posson farci scoprire il suo modo di esistenza.

161. *Sotto l'influenza della calamita il ferro diventa una calamita esso stesso*. — Per dimostrare questa proprietà del ferro si può l'esperimento ordinare siccom'è disegnato nella *figura* 235: *f* è un cilindro di ferro sostenuto da una calamita *ab*; al suo estremo inferiore si presenti della limatura, che vi si appicca in forma di ciuffo e tanto vi riman appesa per quanto il cilindro stesso lo è alla calamita: ma distaccandonelo, incontanente tutta la

limatura cade, nè più si osserva veruna forza attrattiva. Non è già la forza della calamita che opera in distanza sulla limatura e la mantien sospesa, chè se il piccol cilindro non fosse di ferro, il fenomeno non si produrrebbe, del che si può anche meglio convincersi, osservando: 1° che i filuzzi di limatura diminuiscono di lunghezza, cominciando dall' estremità del piccol cilindro; 2° che ci ha verso la parte superiore un punto, al qual non possono più attaccarsi, il che forma la linea media; 3° che al di sopra di questo punto nuovamente si attaccano, dirigendosi nel contrario verso. Sicchè il piccol cilindro è daddovero una calamita, conciosiacchè attrae la limatura ed ha una linea media e due poli: solamente la sua linea media non sta nel mezzo.

In vece di presentare limatura al cilindro sospeso, gli si offra un altro simil cilindro, ed esso lo manterrà (*fig.* *236*); diasene a questo un terzo che anche esso lo porterà; al terzo un quarto, e si formerà in tal guisa una specie di catena, di cui la calamita è principio ed anello primo; in modo che il primo anello mancando, tutta la catena ruina giù e si rompe, non avendo gli altri anelli più alcuna azione per ligarsi l'un l'altro.

Il che si può anche dimostrare mettendo il picciol cilindro di ferro nella lunghezza dell' asta sur un foglio di carta bianca (*fig. 231*). La limatura che vi si gitta d'intorno si dispone regolarmente, e fa veder in *m m'* una linea media che separa le due contrarie azioni, dalle quali è animato di presente il cilindro di ferro, ed, appena ritirata l'asta, cesserà nella limatura ogni tendenza ad ordinarsi, od a serbare il suo pristino ordinamento; il che abbastanza prova che il ferro, non appena sottratto all' influenza della calamita, perde le sue proprietà. Modificando siffatta sperienza può dimostrarsi che non per solo contatto il ferro ha proprietà magnetica dalla calamita, ma sì pur in distanza, come nella figura 232 si vede.

Adunque il ferro al par della calamita, contien i due fluidi magnetici; ma nel suo stato naturale esso li contien *combinati*, cioè neutralizzati l'uno dall'altro. E perciò il ferro non opera magneticamente sul ferro, dappoichè quan-

do dall' un fluido è attirato; vien dall' altro con egual forza respinto, e l' azion che infine risulta è al postutto nulla. Per l'opposito quando è sottoposto all' influenza della calamita, i due suoi fluidi son *decomposti*: l'uno è attirato, respinto l'altro; segue una separazione fra essi: il primo accorre dal lato della calamita, l'altro all' estremità opposta della massa di ferro, e colà diventa in guisa predominante da attirar la limatura che gli si offre. Adunque calamitare non è altro che separar i due fluidi magnetici; e discalamitare è riunirli o ricomporli. La seguente sperienza è acconcissima di mostrar questo doppio effetto: una calamita orizzontale *a b* (*fig.* 237) ha nel suo estremo una massa di ferro *f*, ch'è quasi il più che può sostenere; sopra di *a b* si presenti un' altra calamita *a' b'* della forza medesima, ma li cui poli nel contrario verso son volti; si accosti gradatamente alla prima, ed incontanente il ferro *f* si distacca e cade. Sicchè le due calamite non possono insieme prese portar ciò che ognuna d' esse senza difficoltà porterebbe, e la ragione è agevol a concepire: la seconda calamita distrugge l'effetto della prima, decomponendo in senso inverso i fluidi della massa di ferro *f*, di tal che, se le due calamite così rivolte, fossero incorporate l'una nell'altra, allora scambievolmente si discalamiterebbero, ed il ferro *f* serberebbe al tutto lo stato suo naturale.

Intanto il fenomeno di decomponimento de' fluidi magnetici potendosi in molte guise produrre, noi dobbiamo tentar di riconoscere, se questi fluidi provano in realtà nella sostanza del ferro un moto di trasferimento, in forza del qual passino dall' uno all' altro estremo della lor massa, ovvero se non provan altro, che un rimovimento molecolare.

162. *Il fluido magnetico non passa dalla calamita al ferro, come neppure da una molecola di ferro alla vicina.* — Possono con una calamita calamitarsi pezzi di ferro per quanto tempo e quanto più spesso si vuole, senza che niente perda della sua proprietà attrattiva; adunque per questa operazione la calamita non perde il suo fluido per darlo al ferro, dappoichè col tempo finirebbe sva-

nendo. Ancora può notarsi che un pezzo di ferro, che divien calamita per tutto il tempo che tocca una vera calamita, separatone, niuna traccia non serba delle sue magnetiche proprietà; dunque, niente non serbando, niente non avrà preso. Da ultimo, osservazione più decisiva ancora, avendo il cilindro di ferro, che tocca la calamita, una linea media e due poli, questo prova che possede i due fluidi, e senza dubbio più di un solo non potrebbe riceverne dalla calamita, se la calamita gliel comunicasse. Sicchè dunque il fluido magnetico non è trasmissibile, cioè non passa da un corpo all'altro.

Potrebbesi congetturar che stiasi almanco ne' corpi, come in un un vaso chiuso da tutte parti, e che, se non può di fuora trasferirsi, possa esserlo per dentro; ed ora in un punto, or in un altro portarsi, ed ivi cumularsi secondo le forze che lo spingono. Pur non di meno vedremo che non è mica così, perocchè, mettendosi un fil di ferro a contatto con una calamita, e tagliandone, mentre i fluidi son decomposti, l'estremo, e comparendo l'uno in su ed in giù l'altro, e' non si trova la minima traccia di magnetismo nella parte staccata. Ingannevoli sono adunque le apparenze, e bisogna guardarsi bene dal credere che il fluido magnetico possa come l'elettrico decomporsi, e far il passaggio dall' un all'altro capo del filo, che contiene. Il qual risultamento sembra un inesplicabile paradosso, ma con un pò d' attenzione si può, come dimostreremo, concepire che la decomposizion magnetica segue partitamente in ciascuna molecola, e sol in questa picciola estensione può il fluido moversi, di modo che si dovrebbe tagliar in due una molecola medesima per venir a capo di render l'un dall' altro isolati i due fluidi magnetici. Ecco il principio delle considerazioni, onde ci sarà dato spiegar il fenomeno, di che si tratta, non che quel delle calamite che si rompono, delle quali ciascuna metà diventa in un attimo calamita compiuta.

163. *L'acciaro acquista tutte le magnetiche proprietà delle calamite*. — La limatura d' acciaro non è punto meno attirabile di quella di ferro; ma si attacca alle calamite, e forma in tal guisa piccioli filuzzi o piccoli ciuf-

fetti di una notabilissima lunghezza. I fili d' acciaro non più di alcune frazioni di millimetri doppi sono ancor paragonabilissimi a'fili di ferro della dimensione medesima; se non ch'essi con più lentezza ricevon l'azione magnetica. Ma i pezzi di acciaro di alquanto considerevol mole, e quelli soprattutto fortemente temperati offrono proprietà del tutto da quelle del ferro diverse, imperciocchè dapprima sembra non ricevano alcuna specie d'influenza dalle calamite. Del che ci possiamo accertare provandoci a ripetere con piccioli cilindri d'acciaio temperato l'esperimento descritto nella figura 236. Il primo cilindro mai non potrà appicciearsi alla calamita, ed impossibil fia che con l'acciaro si formi la catena magnetica, che si fa tanto di leggieri col ferro. Intanto essendo i piccoli frammenti di acciaro attirabili, deesi naturalmente supporre che, acquistando volume, quella sostanza non perda compiutamente la sua magnetica sensibilità, e bastano sol alcune cautele per farla quanto esser debbe apparente. Di fatto mettasi l'acciaro in contatto con la calamita, e mantengasi detto contatto per un quarto d'ora od una mezz'ora, allora si vedrà un fenomeno molto particolare: quel corpo che tanto pareva dapprima insensibile al magnetismo, diventa col tempo magnetico; sempreppiù acquista forza ed è infine con pari veemenza del ferro attirato. Ancora si può con altro mezzo supplir al tempo, che sembra indispensabile, perchè la sua forza sviluppisi; e lo stesso consiste nell'esercitar molti ***contatti***, cioè strofinii ***nel medesimo verso*** su tutta la lunghezza del pezzo d'acciaro, o facendo passar questo sulla calamita o la calamita su di esso (*fig.* 253). Così, per esempio, facendo co'piccoli cilindri, de'quali testè parlammo, e sui quali la calamita non avea predominio, essi vedrannosi dopo alcuni strofinii attaccarsi alla sua superficie, attaccarsi l'un con l'altro, e da ultimo formar una catena magnetica, che come quella de'cilindri di ferro si allunga. Adunque il primo carattere dell'acciaio temperato è di richieder per farsi magnetico o un prolungato contatto con la calamita o ripetuti strofinii. Un altro carattere degnissimo di osservazione è che dopo tali operazioni esso conserva ***per sempre*** il magnetismo acquistato. Per prova della qual verità

basta rotolar nella limatura l'acciaio, ch'è stato con la calamita a *contatto*: vi si discerne allora una linea media e due poli, ed, in una parola, tutt'i distintivi delle calamite; si provi anche dopo un dì, un mese, ovvero dopo anni, si scorgerà niente aver perduto della sua forza; si mettano, finalmente di rimpetto per farli operar l'uno sull'altro, i poli del nome stesso di queste *artificiali calamite*, o i lor poli di nomi contrari, si vedrà che si respingono i primi, e gli altri esattamente si attraggono, come fanno i poli delle naturali calamite.

Dal primo carattere che l'acciaro presenta, dalla lentezza, cioè onde cede all'influenza delle calamite si conchiude che vi abbia nella sua sostanza una forza, o piuttosto una specie di resistenza, che s'oppone all'immediata separazione de' suoi fluidi magnetici, e questa dicesi *forza coercitiva*. Dal secondo carattere che appresenta, cioè dalla facoltà, onde conserva il magnetismo che ha potuto ricevere, si conchiude che abbiavi anche nella sua sostanza una forza o resistenza, che opponsi al riunimento de' due fluidi separati; perocchè i fluidi contrari si attraggono; ed incessantemente tendon di ricomporsi o neutralizzarsi, e se una forza non vi si opponesse i due fluidi si ricomporrebbero col fatto, e l'acciaro nello stato suo natural ricadrebbe, appena separato dalla calamita, che su di esso esercita un operazione decomponente. Siffatta resistenza al ricomponimento de' fluidi dicesi anche *forza coercitiva* al par della resistenza alla lor separazione: pur tuttavia non siamo certi che la forza coercitiva, la qual s'oppone alla separazione de'fluidi, identica sia con la forza coercitiva, che s'oppone alla lor congiunzione.

Forse di tutt'i corpi della natura l'acciaro è quello, che può passar per le più svariate combinazioni molecolari, senza che ci sieno sensibili differenze nella sua chimica composizione. In effetto con diversi gradi di tempera o di cottura possono ad un pezzo di acciaio darsi le più differenti proprietà e le più opposte; si posson farne molli perfettamente elastiche, aste come il ferro malleabili, lime; bulini od altri strumenti fragili come il vetro, a'differenti stati corrispondon delle varie forze coercitive, e la più dura

tempera, quella cioè che l'acciaio rende duro e fragile, è generalmente quella, che gli dà la maggior forza coercitiva.

Il ferro acquista anch'esso un pò di forza coercitiva quando è battuto, contorto o martellato a freddo: ma noi per distinguerlo chiamiamo *ferro dolce* quel che non ha veruna forza coercitiva.

Da quanto si è detto risulta che noi possiamo fabbricar calamite affatto simili alle naturali, dal che traghiamo il vantaggio di variar ad arbitrio le dimensioni e le forme, adattandole alle nostre ricerche. Le calamite artificiali prendono diversi nomi. Un *ago calamitato* (*fig.* 238) generalmente ha la forma di un rombo. Esso ora è destinato ad essere collocato sur un acutissimo perno d'acciaro per mezzo di un cappio di agata *c*; or ad esser appeso ad un fil di seta di un sol capo, o ad un gruppo di fili di seta non torta. Alcune fiate non è altro, che un semplice fil di acciaro, un cilindro, od un prisma allungato. Quando le dimensioni dell'ago sono poco considerabili, o in lunghezza o in spessezza, non sarà più sufficiente di passarlo sulla calamita per dargli tutto il magnetismo che può ricevere, ma sarà allora mestieri aver ricorso a particolari processi, che noi faremo partitamente noti nel capitolo della Calamitazione.

Un ago di gran dimensione chiamasi *sbarra calamitata* o semplicemente *sbarra*.

L'unione di molti aghi o di molte lamine calamitate aventi tutt'i poli del nome stesso nel verso medesimo volti, forma un *fascio calamitato* od un *fascio magnetico*.

164. ***Delle varie sostanze magnetiche e della loro forza coercitiva.*** — Dappoichè i fluidi magnetici non son trasmissibili, perchè rimangono in certo modo inerenti alle molecole ponderabili de' corpi, in cui si trovano, manifestamente risulta che i corpi semplici magnetici deggiono serbare lor proprietà in una maniera più o meno apparente nel mezzo delle differenti combinazioni, ond'essi possono far parte. In tal guisa, possiamo aspettarci di rinvenir in tutte le sostanze ferruginose delle tracce di magnetismo intanto più sensibili, in quanto maggior proporzione v'entrerà il ferro; ed è ciò che accade: nondimeno il

perossido di ferro, il persolfuro di ferro, ed altri composti, dove picciola è la proporzion del ferro, non sono più, come il ferro, l'acciaro e la calamita, magnetici, senza che finora si possa assegnar la vera cagione di tal fenomeno. I soli corpi semplici, che godano insieme col ferro la proprietà di esser magnetici, sono il nikel, il cobalto, il cromo ed il manganese, e siffatta proprietà trovasi anche dissimulata nella maggior parte delle composizioni chimiche, onde fanno parte.

165. *Mezzo per discernere se una sostanza sia semplicemente magnetica, ovvero se calamitata.* — Un corpo calamitato necessariamente ha due poli diversi, avendo noi già detto ch'impossibil è il render isolato un de' poli della calamita, epperò un de' fluidi; i poli di contrari nomi avendo un' azione contraria sullo stesso polo di un ago calamitato, basterà dunque di presentar tutt'i punti di un corpo al polo medesimo di un ago per conoscer la sua condizione: se l'azione fia sempre nulla, il corpo non avrà punto sensibile magnetismo; se è sempre attraente, il corpo è semplicemente magnetico; se è attraente per alcuni punti e respignente per altri, il corpo è calamitato, e ci ha due poli ed una linea media di cui può ritrovarsi la traccia.

Qualche volta accade che un corpo medesimo mostri più di due poli; dicesi allora ch'esso ha de' *punti conseguenti*. Per esempio, l'ago descritto nella figura 233 offre due punti conseguenti: l'uno in a' in b' l'altro. Per conoscerne la presenza, basterà di farlo agire sur un picciol ago di prova come quello della figura 252. Stando quello orizzontale, si accosti verticalmente l'altro ago, e facciasi salir o scendere in modo, che tutt' i suoi punti passin di mano in mano dinanzi dal medesimo polo dell'ago mobile. Se non vi son punti conseguenti, altro non si osserverà che un' attrazione ed una repulsione. Se ve ne sarà uno solo, due alternative vedrannosi: per esempio prima attraimento, dopo una repulsione, poi un' altra attrazione. Se ci saranno due punti conseguenti, si osserveranno tre alternative, ec.; perocchè in una calamita, che offre punti conseguenti, ciascun polo tocca sempre ad un

polo di nome contrario, e le alternative d'attrazione e di repulsione si succedono con regola.

Ancora posson i punti conseguenti esser fatti visibili, od immergendo nella limatura la calamita, o mettendola sotto un foglio di cartone o di carta, su di cui siasi crivellato della finissima limatura. È la seconda di quelle sperienze che la figura 233 rappresenta. Più in là noi vedremo in qual modo i poli moltiplici possano stabilirsi negli aghi, e come posson farsi sparire e cansarli: cosa di massima importanza nella struttura delle bussole.

CAPITOLO II.

Dell' azione magnetica della Terra.

166. *Direzione delle calamite. — Declinazione. — Inclinazione.* — Un ago calamitato, od orizzontalmente appeso ad un fil di seta, o sur un perno allogato, non è in equilibrio in tutte le positure; ma prende una determinata direzione verso un punto dell' orizzonte, ed, allontanandosene, vi ritorna con una serie di vibrazioni più o meno celeri. È una virtù magnetica, che vel richiama; un ago non calamitato niente di simile prova. Siffatta notabile proprietà degli aghi calamitati ha effetto dovunque; in tutte le regioni della terra, su tutte le terre ferme, e su tutt' i mari, in cima de' più alti monti, siccome nelle più profonde cave, l' ago calamitato prende dove che sia una direzione costante, alla qual fa, venendone allontanato, ritorno. Adunque ci ha una forza magnetica, che fa sentire i suoi effetti in qualsiasi punto del globo terrestre; perocchè non può ammettersi che le calamite si dirigan da sè medesime, siccome non si può, che i corpi si dian moto da sè: in ambidue i casi vi bisogna il concorso di una esterna virtù.

E noi con una facile sperienza possiam ravvisare che la medesima ha il carettere essenziale della forza, che dalla calamita procede, e non già di quella procedente da una massa di ferro: imperciocchè, se capovolgonsi i poli dell' ago girandoli *capo-a-capo*, in quest' altra giacitura non sarà più in equilibrio, ma farà una giravolta e descriverà o dall' un lato, o dall' altro tutta la semicirconferenza che dalla sua pristina direzione lo scosta. Sicchè la forza direttrice distingue i poli, ed essa, simile alla calamita, opera per attrazione sull'uno e repellendo sull' altro, mentre il ferro l' uno e l' altro indistintamente attraesi e con la stessa energia.

Ma dov'è il centro di questa magnetica influenza, se generalmente sparsa in tutt'i punti della terra? La quistione pare malagevole a sciorre, e fu un tempo grande argomento di lite tra' Fisici. Alcuni insieme col Cardano facevan sede di tal forza una picciola stella, che forma la coda dell'orsa maggiore; altri la collocano nel polo del zodiaco, e ci ha pur di quelli, ai quali parendo forse il cielo troppo ristretto piacque immaginar al di là de'cieli, e delle stelle un centro attraente, da cui giungeva alla terra la forza, che le calamite dirige. Ma Gilbert, primo fondator della scienza del magnetismo e dell' elettricità, pose termine a tutte queste vane ipotesi, dimostrando, per quanto poteasi a'tempi suoi, che il globo terrestre è magnetico, e che la sua influenza dirige l'ago calamitato (1).

Discutendo le osservazioni, che ne' vari climi sonosi fatte, effettivamente saremo, dalla loro unione, indotti a risguardar la terra, come una vasta calamita, la cui linea media è posta nelle regioni dell'equatore. Dal che si trae un mezzo di distinguere e diffinir i due fluidi magnetici; *fluido boreale* si chiama quel che domina nell' emisfero boreale della terra, e quel che nell'australe domina, *fluido australe*; e conciosiachè siano i fluidi di contrari nomi, che s'attraono ne risulta ch'è il polo *australe* di un ago, il qual si drizza verso il *nord*, ed il suo polo *boreale* verso il *sud*.

(1) Il Gilbert scriveva sulla fine del secolo decimosesto, ed il suo trattato *de Magnete magneticisque corporibus*, *et magno magnete Tellure*, è un vero modello d' invenzione e sagacia. Ecco ciò ch' egli dice nel terzo libro di detta opera, cap. 1, p. 116 della stampa del 1628, parlando degli aghi che si dirigono: *Nunc vero harum rerum causæ et admirabiles efficientiæ, antea conspicuæ, sed non demonstratæ, nobis aperiendæ sunt. De hisce conversionibus qui ante nos scripserunt omnes, tam breviter, tam jejune et ancipiti judicio opiniones suas tradiderunt, ut nemini vix unquam persuadere, nedum ipsis satisfacere posse videantur, et a prudentioribus, omnes eorum ratiunculæ, tamquam inutiles, incertæ, et absurdae, nullis demonstrationibus aut argumentis suffultæ, rejiciuntur, unde et neglecta magis incomprehensa exulavit magnetica scientia.*

In un luogo medesimo gli aghi calamitati, che sono distanti in modo da non influir l'uno sull'altro, prendono direzioni notabilmente parallele: ma in que' punti della terra, che sonosi di qualche gradi allontanati in longitudine o in latitudine, detto parallelismo più non esiste; quindi è importante di poter determinare la direzion dell'ago calamitato, cioè di poterla paragonare a linee note ed immutabili, per conoscer in un luogo medesimo quai sono i cangiamenti, che tal direzione prova col tempo, e quali le corrispondenze che ci ha fra le direzioni, che si osservano in luoghi diversi. Ecco su tale scopo alcune geometriche definizioni, che importa di colpire al punto.

Il *meridiano magnetico* è il piano, che passa pel centro della terra e per la direzione dell' ago orizzontale, ovvero semplicemente la *traccia*, ch' esso piano farebbe sulla superficie terrestre. È noto che il *meridiano terrestre* o il *meridiano astronomico* di un sito è il piano, che passa per lo stesso e per l'asse della terra, e che la *linea meridiana*, o semplicemente la *meridiana* è la *traccia* di esso piano sulla superficie terrestre. Il meridiano magnetico e l'astronomico sono due piani verticali, conciosiachè entrambi passano per la verticale del luogo, onde si considerano; ma questi due piani possono far tra di essi un angolo più o meno grande.

La *declinazione* dell' ago calamitato in qualsiasi luogo è l'angolo che fa il meridiano magnetico con l'astronomico, ovvero, il che torna lo stesso, l'angolo che fa la direzion dell'ago orizzontale con la meridiana. La declinazione è *orientale* quando il polo australe dell' ago passa all' est della meridiana, ed *occidentale*, se all' ovest. Per esempio *sn* (*fig. 243*) è la meridiana della Specola di Parigi, ed *ab* la direzion dell ago orizzontale nel luogo medesimo: la declinazione è occidentale, e trovasi di presente a circa 22°, perocchè vedremo ch' essa muta col tempo. Ei ci ha luoghi della terra, dove l' ago si dirige esattamente secondo la meridiana: il declinamento negli stessi è nullo, ed il cumulo de' punti successivi, ne' quali questo fenomeno si presenta, è ciò che vien detto *linee senza declinazione*. E noi vedremo che dall' uno all' al-

tro polo sonvi almeno due linee senza declinazione, le quali attraversano i mari e le terre ferme in direzioni del tutto tortuose ed irregolari.

Qualsiasi apparecchio acconcio di osservar la declinazione dicesi *bussola di declinazione*. Ne' climi nostri anzi quasi in tutta la terra, accostandosi l'ago di declinazione più a' punti cardinali del nord e del sud, che dell'est e dell'ovest, comunemente suol dirsi ch'esso dirigesi verso il nord.

L'inclinazione è l'angolo che con l'orizzonte fa un ago, il qual può moversi liberamente intorno al suo centro di gravità nel piano verticale del meridiano magnetico. Immaginiamo un ago *a c b* (*fig. 240*), mobile intorno di un asse centrale *c*, che può percorrer tutta quanta una circonferenza nel piano verticale *z c h*: se questo piano di rotazione coincide col meridiano magnetico, l'angolo *a c h* sarà l'inclinazione del luogo. La quale, a Parigi, è di circa 70°, ed il polo australe è quel che rimane di sotto all'orizzonte. In verità l'ago fa con l'orizzonte quattro angoli, che sono uguali, due a due: ma si è d'accordo in prender sempre per l'inclinazione il più picciol che l'ago formi, anzi, per stabilir le idee, il più picciol degli angoli, che forma la sua parte inferiore; sicchè l'inclinazione è sempre più picciola di 90°.

Gli apparecchi atti ad osservar l'inclinazione diconsi *bussole d'inclinazione*.

Partendosi, per esempio, da Parigi con un apparecchio di tal sorta per innoltrarsi verso il polo boreale della terra, si scorgerà che l'inclinazione aumenta insieme con la latitudine, ed in alcuna parte di questi spazi ad una certa distanza dal polo di rotazione della terra, havvi un punto, in cui l'ago d'inclinazione è esattamente verticale, epperò l'inclinazione è di 90°; questo punto è il *polo magnetico* boreale della terra.

Partendosi, per l'opposito, da Parigi per innoltrarsi verso il polo australe della terra, l'inclinazione decresce con la latitudine, e non appena giunto nella zona equatoriale, trovasi un tal punto in cui l'inclinazione è affatto nulla cioè in cui l'ago d'inclinazione è perfettamente oriz-

zontale. Più oltre passando, un' altra inclinazion si rinviene; ma è allora il polo boreale dell' ago, che spignesi al di sotto dell' orizzonte, e vieppiù si prolunga, siccome la latitudine australe cresce. Adunque verso il polo australe della terra ci ha un altro punto, in cui l'ago d' inclinazione eleverrebbesi puntualmente nella direzione del filo-a-piombo, il suo polo boreale in giù, e l' australe verso lo zenit, e siffatto punto, il cui sito preciso non è ancor noto, è il *polo magnetico australe* della terra.

Qualunque siasi il meridiano, sul qual si attraversi la zona equatoriale, sempre troviamo un punto dove l'ago è orizzontale, e la serie di *essi punti senza inclinazione* forma attorno la terra una curva che si dice *equatore magnetico*. La qual curva è regolare in una parte del suo giro, e quivi segue molto sensibilmente la direzion di un gran cerchio, che verrebbe ad esser inclinato all' equatore terrestre, di 12° a 13°, e lo taglierebbe, da un lato, all' ovest della costa occidentale dell' America verso l' isola Galego; e da un altro verso la costa occidentale dell' Affrica, inclinandosi dal canto del sud nella parte dell' Oceano atlantico, ch' essi due punti divide. Ma ripetute osservazioni dinotano al tempo stesso che l' equatore magnetico prova nel mare del Sud, fra l' Isole Sandwich e l' Isole degli Amici, innumerevoli tortuosità, delle quali è malagevole rendere ragione.

167. *La magnetica azione che la terra esercita sur un ago calamitato può essere rappresentata da una coppia, da un sistema cioè di due forze uguali, parallele ed opposte.* — Di fatto immaginiamo un ago calamitato *a m b* (*fig. 245*) la cui linea media sia in *m*, ed in prima notiamo che il fluido australe libero, ch' è sparso nella lunghezza *a m* è sempre per la quantità uguale al fluido boreale libero, ch' è sparso nella lunghezza *m b*; dappoichè questi due fluidi risultano dal fluido naturale decomposto, e, di nuovo combinandosi, si neutralizzerebbono esattamente. Se ora consideriamo tutta quanta l' azione che il fluido boreale della terra esercita sopra l'ago, sarà manifesto che la si riduce a una coppia, im-

perciocchè, ad ugual distanza, la somma delle attrazioni, ch' esercita sul fluido australe di *m a* è uguale ed opposta alla somma delle ripulsioni, ch' esercita sul fluido boreale di *mb*, e l'ago è si picciolo, rispetto alla distanza che il separa dal fluido boreale sparso per l'emisfero terrestre, che le due azioni, di cui si tratta, sono rigorosamente parallele. E ciò che s' è detto del fluido boreale terrestre s' applica al fluido australe; dunque un ago, nella superficie della terra è da due coppie sospinto, le quali riduconsi in una per la composizion delle forze parallele; sicchè, in conchiusione, l'azione della terra può con una sola coppia rappresentarsi.

Dal che risulta non esser la forza magnetica della terra nè una forza attraente, nè una repellente, ma solo una forza direttrice, insufficiente d'imprimer alle calamite un qualsiasi moto di traslatamento.

Tal conseguenza può con parecchie sperienze verificarsi:

1° Un ago calamitato, galleggiante sull' acqua per mezzo di un leggiero pezzo di sughera, prende la direzione del meridiano magnetico, ma non prova dipoi verun barcollamento nella superficie dell' acqua; il che ben dimostra che la repellente delle azioni terrestri non può dare niuna orizzontal componente.

2° Un ago calamitato equilibrato (*fig. 241*) sur una tavoletta orrizzontale appesa ad un filo non torto, anche si dirigerà, in tale stato, esattamente verso il meridiano magnetico, il che non potrebbe seguire, se fosse da una forza orizzontale sospinto attraente o reppellente.

3° Un ago d'acciaro non acquista, calamitandosi, il menomo accrescimento, nè la minima diminuzione di peso; or, se la forza terrestre avesse una risultante verticale attraente o repellente, di necessità proverebbe un cangiamento di peso.

I due punti, ove trovansi applicati in una calamita le due forze uguali parallele ed opposte, che stabiliscono la coppia terrestre, i veri *poli* sono dell' ago; la positura loro dalla distribuzione del magnetismo dipende, siccome nel capitolo che segue vedremo, ma è, in tutt' i casi,

mestieri che la linea, che li congiugne, sia drizzata esattamente nel piano del meridiano magnetico, affinchè l'ago orizzontale trovisi in equilibrio; sicchè dunque la direzione di siffatta linea dà la direzione vera dell' ago calamitato: or, siccome la *linea de' poli*, ch'è l'asse magnetico, può non coincidere con la *linea delle punte*, ch'è l'asse di figura, essenzial cosa è toglier di mezzo questa cagione di errore; al che si perviene col seguente metodo, detto il *metodo del rivolgimento*.

Sia un ago orizzontale *e f g h* (*fig. 244*), i cui poli sono irregolarmente situati, l'uno in *a*, in *b* l'altro; nella posizion sua d'equilibrio, il suo asse di figura ***iu*** farà, per esempio, un angolo ***u c n*** con la linea meridiana del luogo, mentre il suo asse magnetico fa un angolo ***a k n***: se volgonsi le superficie senza volgere i poli, e poi di nuovo si abbondoni a se stesso, esso allora si fermerà nella positura *e' f' g' h'* in modo che l'asse *a' b'* sia parallelo ad *ab*, conciosiachè tal è la condizion di equilibrio; allora l'asse di figura ***i' u'*** forma con la meridiana un angolo vien assai più grande che dianzi, mentre l'asse magnetico forma l'angolo stesso; ed è agevole a discernere che la media degli angoli ***u c n*** ed ***u' c n*** è puntualmente l'angolo ***m c n***, cioè la declinazione cercata. Sicchè bisogna osservar sempre la declinazione col *metodo del rivolgimento*, se non si vuol cadere in errori che giungono per ordinario a parecchi gradi.

La *direzione* della forza magnetica della terra agevolmente ora ci si può diffinire e trovarsi concorrendo essa con la direzion dell'ago d'inclinazione, ch'è in equilibrio nel piano del meridiano magnetico. Di fatti, operando sola essa forza sur un ago, non potrà lasciarlo in riposo, se non dopo aver condotto l'asse o la linea de' poli nella sua propria direzione; ed affinchè la operi sola, senza esser nè dalla gravità combattuta, nè da niuna resistenza, fa mestieri che l'ago stia sospeso pel suo centro di gravità, e che possa moversi nel piano della coppia: la qual duplice condizione si trova compiuta nella bussola d'inclinazione, s'è fatta bene ed esattamente rivolta nel piano del meridiano magnetico. Determinata una volta tal direzione, noi farem noti gl' istrumenti, che servono ad osser-

varla, cioè: la bussola di declinazione, la bussola d'inclinazione, e la bussola delle diurne varietà.

168. *Bussola di declinazione.* — Questo istrumento è rappresentato nelle figure 259, 260, 261 e 262.

gg' (*fig. 262*) è l'ago della bussola; sono i suoi poli in *a* e *b* ed è verso il suo centro forata di un'apertura *t*, di 7 in 8 millimetri di diametro, affinchè possa agevolmente sommettersi al metodo del rivolgimento; la è da sè stessa equilibrata senza contrappeso, epperò non si potrebbe mantener più orizzontale, se fosse discalamitata.

cc' (*fig. 261*) è un taglio del cappio di agata. E questo vuolsi lavorar con grande accuratezza: soprattutto nella cima interna, dov'è la picciola superficie curva, che dee posar sulla punta del perno *p*; e nel suo esterno contorno, dove va ad aggiustarsi l'apertura centrale dell'ago.

Il perno *p* ha la punta sua fatta sotto un angolo di 15 a 20°. L'anello *aa'* è destinato a sollevare il cappio dell'ago, o per alleggerire il perno, quando l'apparecchio non è in opera, o per arrestar le vibrazioni di un'ampiezza assai grande. L'asta di questo anello prolungasi fino all'esterno della cassa, dove s'aggiusta con un bottone che ad arbitrio la innalza, od abbassa.

Rappresenta il taglio della bussola la figura 260.

gg' è l'ago;

dd' un cerchio partito, sul quale si legge la divisione corrispondente agli estremi dell'ago;

bb' l'orlo della scatola, ch'è, come il resto dell'apparecchio, di rame rosso;

vv' il vetro che rinchiude la scatola perchè s'eviti l'agitamento dell'aria;

xy un asse solido incorporato al fondo della scatola, e che può girar sul suo estremo conico inferiore in una picciola cavità della vite *w*.

Il qual rotamento si trasporta con sè l'asse, la scatola e tutt'i pezzi aderenti; ma stabil rimane, nel tempo stesso, il piede dello strumento, non che il cilindro *ll'*, che inviluppa l'asse *xy*, ed è, per mezzo de'sei raggi quali sono *o r* ed *o' r'*, destinato a portar il cerchio partito *zz'* che appellasi *cerchio azimutale*.

Due noni, diametralmente opposti, l'uno de'quali

è rappresentato in n (*fig.* 259), sono stabiliti sull' orlo della scatola per girar con essa, e marcar da quale angolo gira, o partendo dal zero, ovvero da una determinata divisione del cerchio azimutale.

Servono le viti calanti vv' a rendere orizzontale l' apparecchio col mezzo del livello n'.

tt' (*fig.* 259) è un cannocchiale: ed è posato sur un asse di rotazione ee', parallelo al cerchio degli azimut, ed il cui mezzo è nella verticale del perno. Siffatta condizione si adempie per mezzo delle picciole viti che terminano il montante m'. Il cannocchiale, nel moto suo di rotazione, portasi un nonio is (*fig.* 259) che percorre l' arco partito uu', e dà immediatamente l'angolo del raggio visuale con l'orizzonte.

Per osservar la declinazione col mezzo di questo strumento, dispongasi orizzontalmente, facciasi girar la scatola per condurre un astro noto nel campo del cannocchiale, del qual si osservi l' altezza; nel tempo stesso leggasi la divisione corrispondente del cerchio dell' ago e quella del cerchio degli azimut, il che dà l' angolo del meridiano magnetico col verticale dell' astro nel punto dell' osservazione. Rimane dopo a trovare, co' metodi astronomici, l' angolo verticale dell' astro col meridiano del luogo per dedurne la declinazione. Se l' ago della bussola non è precedentemente provato, e se ignorasi l' influenza del rivolgimento su di esso, sarà mestieri far un' altra osservazione dopo averlo girato, come dianzi abbiam detto.

Per dare un' immagine de' cangiamenti che prova la declinazione, noi riuniremo nella tavola seguente, le osservazioni fatte in diversi tempi a Parigi.

Declinazioni osservate a Parigi.

anni.	declinazioni.	anni.	declinazioni.
1580	11° 30' est.	1816.	22° 25' ovest.
1618.	8	1817.	22 19
1663.	0	1823.	22 23
1678.	1 30 ovest.	1824.	22 23
1700.	8 10	1825.	22 22
1780.	19 55	1827.	22 20
1785.	22 00	1828.	22 5
1805.	22 5	1829.	22 12
1813.	22 28	1832.	22 3
1814.	22 34	1835.	22 4

E si scorge, 1° che, dal 1580, la declinazione ha variato di più di 30°;

2° che sol nel 1663 fu nulla;

3° che l'andar suo è andato notabilmente progredendo verso l'ovest dalle prime osservazioni insino al 1814;

4° che, da quel tempo, sembra provi un moto retrogrado verso l'oriente.

La *bussola marina* o *compasso di variazione* non è altro, che una bussola di declinazione; se non che la è in modo sospesa che, in mezzo agli agitamenti del mare, si mantenga in una positura sensibilmente orizzontale. Le figure 263 264 rappresentano un aspetto ed un taglio di siffatto strumento.

bb', orli della scatola, il cui fondo è in *ff*.

v, vetro che la rinserra.

t, perno che s'alza o si cala per mezzo della vite *w*.

gg', ago il cui guscio è in *c*.

rr', sottil foglio di carta, raddoppiato d'un foglio di talco, o di qualsiasi altra sostanza leggera e tesa. Formano questi fogli la così detta *rosa de' venti*; e sono appiccati ed incollati all'ago per moversi insieme con esso. La rosa è un cerchio, il cui centro sta nella verticale del perno, e la cui circonferenza ha insieme le divisioni in gradi ed i segni de' venti.

pp', due traguardi, il primo avente una stretta fessura, ed una larga l'altro, in mezzo alla quale si pone un fil verticale.

m, specchio a facce molto parallele, inclinato di 55°, e quasi della stessa larghezza del traguardo oculare *p*. Il picciolo lato dello specchio, che corrisponde alla fessura di questo traguardo, è solo nella sua parte superiore non amalgamato perchè possa l'osservatore, attraverso allo specchio, tener d'occhio il filo del traguardo *p'*.

o, positura dell'occhio nel momento dell'osservazione. Prendesi per i due pertugi di mira, o un astro, od un oggetto posto nell'orizzonte a 15 o 20° d'altezza. Nel tempo stesso vedesi in *i* sullo specchio per la riflessione, una parte della *linea di fede f*, la quale è dipinta a nero sull'interno orlo della scatola; ed in *i'* la division della rosa,

che sta dirimpetto alla linea di fede, nel piano verticale cioè del perno e delle fessure de' pertugi.

In tal modo di un guardo solo si ravvisa l'angolo dell'ago o del meridiano magnetico col piano verticale dell'astro o dell'oggetto. Rimane a determinar co' noti mezzi l'angolo di quest'ultimo piano col meridiano astronomico del luogo per dedurne il declinamento. Tutto quanto l'istrumento è collocato sur una traversa tt' (*fig. 263*) la qual si unisce a vite ad un piede, sul qual può essa liberamente girare; uno stabil cerchio cc' è collocato su questa traversa; sulla prima si posa un cerchio interno ce' e gira intorno all'asse xx', infine la scatola stessa è anch'essa da questo mobil cerchio portata, e gira su di esso per mezzo dell'asse zz', il qual è perpendicolare ad xx'. E sol per questi due movimenti rettangolari la scatola serba la sua orizzontalità; essi costituiscon ciò che si chiama *sospensione del Cardano*.

Rappresenta la figura 265 una *bussola d'agrimensore*, della quale s'intenderà di leggieri l'uso dopo quel che or ora diremo.

La bussola fu in uso appresso i Chinesi molto prima che si conoscesse in Europa. Da parecchi documenti autentici, riferiti dal Duhalde nella descrizione dell'impero della China, si può concluder che, più di mille anni prima di Gesù Cristo, i Chinesi adoperavano la bussola per dirigersi sulle terre ferme. E si è creduto che Marco Polo ci avesse quella invenzione arrecata: ma questo celebre viaggiatore, che conobbe tanto bene la China, solo nel 1295 fè ritorno in Europa; ed ei si fa della bussola menzione fin dal 1180 nelle rime del Guyot di Provins, e fin dal 1266 nell'istoria della Norvegia. Sono generalmente di accordo a risguardar come primi inventori della bussola europea gli Amalfitani, e sembra certo che l'uso della stessa sol nel 1300 fu alquanto sparso (1).

Ne' primi tempi credevasi che l'ago calamitato in qualsivoglia luogo della terra si volgesse direttamente al nord; e si narra che fu molto stupito il Colombo osservando nel 1492, quando egli scorreva l'oceano per andar a scoprire il Nuovo Mondo, una declinazione. Sembra che il ve-

neziano Cabot, divenuto poi gran piloto d'Inghilterra, analoghe osservazioni facesse circa l'anno 1500.

Conosciuto una volta il fatto della declinazione, ei bisognava indagar le variazioni che soffre, in passando di un luogo in un altro. Le prime tavole alquanto precise, che comprovano questo importante fenomeno, furon nel 1599 da' naviganti olandesi formate, dietro gli ordini del principe di Nassau.

Da ultimo il cangiamento di declinazione nel luogo stesso fu nel 1622 scoverto dal Gunter, professore nel collegio di Gresham: ei trovò a Londra una declinazione orientale di 6° 13', mentre nel 1580 fu anche all'oriente trovata di 11° 15' da Roberto Norman, quel medesimo che discoprì l'inclinazione nel 1576.

168 *bis*. ***Bussola d'inclinazione.*** — La rappresentano le figure 267 a 271.

La figura 268 rappresenta nella sua larghezza l'ago d'inclinazione gg', e la figura 269 rappresentalo nella sua doppiezza. Le sezioni s, s', s'' danno una immagine della sua forma.

cc' è una spezie di ghiera o di anello di rame, che si fa con strettissimo attaccamento combaciare nel mezzo della lunghezza dell'ago; ed ha un asse di rame cc', terminato in piccoli cilindri d'acciaro lisciato a ed a', i quali formano l'asse di rotazione. L'asse matematico aa di essi due cilindri dee passar per lo centro di gravità dell'ago: la qual condizione si fa prova di compiere, od almeno accostarvisi il più che si può, situando convenevolmente l'anello, e facendo mover le viti laterali vv.

L'ago è nel suo posto nella figura 267; ed il rettangolo sul qual esso posa, è un pezzo della bussola importante. Più in grande e più minutamente si scorge nell'elevazione (*fig. 270*) e nel taglio (*fig. 271*). Esso è composto di una traversa stabile tt' la quale porta il coltello di agata pp', e di un'altra traversa mm' mobile intorno all'asse a. La prima porta una forchetta f, che innalza l'asse dell'ago, quando non si vuol più che riposi su' coltelli di agata, ed anche un pezzo da fermare r, che l'asse impedisce dal girarsi sulla forchetta. Quest'ordinamento è

combinato affinchè l'asse dell'ago si trovi esattamente nel centro dell'orlo d'inclinamento *ll'* (*fig.* 267) e non appena ribassata la forchetta per cominciar l'osservazione, perpendicolare al suo piano.

L'orlo *ll'* sta perpendicolarmente sur una piastra solida *pp'*, che sostiene pure gli appoggi del rettangolo, la cassa di vetro *rr'*, ed un livello *nn'*. Tutto quanto il sistema è mobile intorno all'asse verticale xx', il qual passa pel centro del cerchio *ll'* e quindi pel centro di gravità dell'ago. Un nonio *ii'*, attaccato alla piastra *pp'*, percorre il cerchio azimutale *zz'* per segnare continuamente su questo piano gli angoli descritti dall'orlo verticale.

Per osservare con tale strumento l'inclinazione, conoscendosi già il declinamento o la direzione del meridiano magnetico, mettasi l'orlo verticale secondo questa direzione, e l'ago si andrà da sè stesso a porre secondo la linea d'inclinamento: e se non vuolsi aspettare che rimanga in quiete, si prenda il mezzo delle piccole vibrazioni, ch'esso fa prima di fermarsi. Dopo questo primo risultamento si volgano le facce dell'ago, senza volgerne i poli, per correggere in questo modo gli errori, che potrebbon procedere o dall'irregolarità della calamitazione, o dall'eccentricità del centro di gravità; ma non per questo essendo compensate, se non imperfettamente, queste due cagioni di errore, due altri consimili osservazioni fanno mestieri, dopo aver voltato i poli dell'ago, calamitandolo in senso contrario. La media di questi quattro risultamenti dà l'inclinazione.

Ma si può di leggieri far di meno di determinar prima il declinamento. In fatti essendo la coppia terrestre contenuta nel piano del meridiano magnetico, mai non sarà l'ago spinto ad uscir di esso piano, e si dovrà quindi diriger verticalmente, quando è costretto di moversi in un piano verticale perpendicolare a questo meridiano. Reciprocamente, girandosi l'orlo della bussola, insino a che l'ago sia verticale, si può allora esser certo ch'è perpendicolare all'ago di declinazione; e, quindi cominciando, basterà fargli descriver 90° sul cerchio azimutale, per condurlo nel meridiano magnetico. Ancora per più sempliciz-

tà si potrebbe cercare tasteggiando l'azimut dell'orlo, che dà il minimum d'inclinazione: che sarà l'inclinazione del luogo, dappoichè d'ambe le parti l'ago si approssima alla verticale.

La seguente tavola contiene diverse inclinazioni a Parigi osservate. Possono quelle, che precedono il 1798 contenere in sè notabilissimi errori, chè allora, siccome abbiamo accennato, non si prendeva la media di 4 osservazioni.

Tavola dell' inclinazione per Parigi.

anni.	inclinazioni.	anni.	inclinazioni.
1671.	75°	1819.	68° 25'
1754.	72 15'	1820.	68 20
1776.	72 25	1821.	68 14
1780.	71 48	1822.	68 11
1791.	70 52	1823.	68 8
1798.	69 51	1825.	68 0
1806.	69 12	1826.	68 0
1810.	68 50	1829.	67 41
1814.	68 36	1831.	67 40
1816.	68 40	1835.	67 24
1818.	68 35		

Salvo alcune irregolarità, da questa tavola risulta che, a Parigi, l'inclinazione è ita sempre decrescendo dal 1671, e la diminuzione è stata notevolmente variabile di un anno all'altro.

La scoverta dell'inclinazione rimonta all'anno 1576; ed è dovuta a Roberto Norman, costruttore di strumenti in un de' borghi di Londra; erasi fin allora creduto che l'ago dovesse esser orizzontale, e, quando in Europa vedevasi il suo polo australe abbassare, erasi contento di ammettere che il centro di gravità fosse male determinato. Roberto Norman osservatore più ingegnoso ed accurato, che altri non era a quel tempo, misurò il contrappeso che bisognava aggiugnere, e fu in tal modo condotto ad una delle più importanti scoperte del magnetismo.

169. *Bussola delle variazioni diurne.* — L'ago di declinazione ogni dì prova alcuni movimenti all'est o all'ovest del meridiano magnetico: or sono improvvisi ed

accidentali, ora regolari e periodici: si dicono nel primo caso *perturbazioni*; nel secondo consistono nelle così dette *variazioni diurne*. I giorni da nessuna perturbazione segnati, a Parigi si osservano i seguenti fenomeni: l'ago, durante la notte, è quasi stazionario; al levar del sole si mette in moto, ed il suo polo australe (o la sua estremità nord) corre all'ovest, quasi l'influenza di quell'astro fuggisse; sul mezzodì, o più universalmente fra tre ore dopo, esso aggiugne il suo *maximum* di deviazione occidentale; quindi, con un movimento contrario, all'oriente ritorna insino a 9, 10 od 11 ore della sera: allora, o che abbia esattamente ripresa la sua pristina positura, o che vi si trovi soltanto vicinissimo, l'ago si ferma, ed immobile, quanto dura la notte, si resta, per dare la dimane cominciamento ad una simile vibrazione. (3)

L'*ampiezza* della variazione diurna è l'angolo, che l'ago percorre dalla stazion del mattino insino al maximum di deviamento occidentale. Questo angolo è sempre mutabile: intanto dalle numerose osservazioni del Sig. Cassini risulta, ch'è generalmente maggiore nell'està dall'equinozio di primavera a quel di autunno; ed è nell'inverno più piccolo dall'equinozio di autunno a quello di primavera. Il suo valor medio sembra essere, pe' mesi di aprile, maggio, giugno, luglio, agosto e settembre, di 13' a 15'; e sol di 8' a 10' pe' mesi di ottobre, novembre, dicembre, gennaio, febbraio e marzo. Alcuni giorni elevasi fino a 25', ed alcuni altri non oltrepassa o 5 o 6'.

Ancora dobbiamo al Sig. Cassini quell'osservazione di gran momento; che l'ago di declinazione, anche nelle cave della Specola, soffre giornalieri mutamenti; ivi, 80 e più piedi sotterra, custodito da tutte le influenze della luce e del calore del giorno, l'ampiezza delle sue variazioni è la stessa che nella superficie del suolo, e nell'ore medesime è immobile, cammina all'occidente, ed all'oriente ritorna.

Nelle più settentrionali regioni, siccome in Danimarca in Islanda ed al nord dell'America, le variazioni diurne sono generalmente più considerevoli e meno regolari; e pare altresì che l'ago durante la notte non tenga l'im-

mobilità osservata a Parigi, e che verso la sera soltanto esso aggiunga il suo maximum di deviamento occidentale.

Al contrario partendo dal nord per andar verso l'equatore magnetico, le variazioni diurne van senza posa sminuendo d'ampiezza, e sono sull'equatore magnetico stesso sensibilmente nulle. Nondimeno, dopo alcune osservazioni del capitano Duperrey, sembra che la posizione del sole al nord o al mezzodì dell'equatore terrestre dovrebbe certa influenza avere in far vibrare dall'una parte o dall'altra dell'equatore magnetico i punti, che non soffrono varietà.

Le mutazioni diurne, al mezzogiorno dell'equatore magnetico, seguono in un ordine inverso: l'estremo nord dell'ago procede all'est in quelle ore stesse, che nell'emisfero boreale cammina all'ovest; il quale strano risultamento venne riferınato dalle osservazioni fatte il 1794, 1795 e 1796 dal S. J. Macdonald nel forte Malbrough di Sumatra ed a S. Elena; nell'isola di Francia, a Timor, a Rawak, a Guham, a Movi e nel porto Jackson dal capitano Freycinet nel 1818, 1819 e 1820, ed il 1822, 1823 e 1824 dal capitano Duperrey in parecchi punti prossimi all'equatore magnetico.

Ei non è ancora di una maniera certa saputo, se le variazioni diurne seguono in ciascuno emisfero nel medesimo verso, tanto dov'è occidentale la declinazione, che dov'è orientale. Non sono intorno a questo punto concordi le pochissimo numerose osservazioni, che noi possediamo, ed è un fenomeno che merita di richiamare l'attenzione de'fisici.

L'ago d'inclinazione, siccome quello di declinazione, è sottoposto a mutazioni diurne, ma esso ha ne'suoi moti minore ampiezza.

Facendo questi risultamenti generici, si può presumere che un ago calamitato, mobile in un qualsiasi piano, proverebbe giornaliere vibrazioni, e che un ago, il qual fosse mobile in tutt'i versi intorno al suo centro di gravità, ogni dì descriverebbe un cono, la cui base sarebbe un ellissi, od un'altra curva più o men prolungata ne'diversi luoghi della terra.

*

Le variazioni diurne furono per la prima volta osservate dal Graham sul finir del 1722; poscia studiate accuratamente in Isvezia dall'Hiorter e Celsius verso il 1740, e nel 1750 dal Wargentin; a Londra nel 1756 dal Canton, in Danimarca dal 1765 al 1772 dal Lous; a Roma dal padre Asclepi nel 1772; in Francia dal Sig. Cassini dal 1780 al 1790. Gli strumenti sono da quel tempo divenuti più perfetti, le osservazioni continuano in molti siti del globo, ed i viaggiatori, nelle corse loro intorno del mondo, deggiono, siccome uno de' più importanti obietti delle loro ricerche, tenerne ragione.

La figura 266 rappresenta la *bussola di variazione*. Senza dubbio non tutti gli osservatori possono procacciarsi uno strumento tanto compiuto, ma si possono tutti quanti disporre aghi secondo i principi della sua struttura, e così aggiugnere ad una grande esattezza nelle osservazioni loro. È inutile quasi di far notare che tutt' i pezzi metallici siano di rame rosso purissimo.

zz', tavola di marmo bianco, su cui stanno le colonne e la cassa dello strumento.

ss', colonna per la sospensione.

mm, colonne del primo microscopio.

m'm', colonne del secondo microscopio.

bb', cassa della bussola.

aa', ago calamitato, passato in fretta per un picciolo anello di rame *n*; al quale è attaccato un filo, o meglio un fascetto di fili di seta non torti, il quale sostiene l'ago, e va ad avvoltarsi intorno al piccolo verricello *t*. Si mantiene questo filo nel centro del cerchio partito *cc*, quivi attraversando una picciola gabbia di vetro, che si innalza fra le due colonne *ss*, affinchè non possa l'aria agitarlo, nè penetrar nella cassa; girando o da un lato o dall'altro il verricello *t*, si può alzare od abbassar l'ago. Chiudono le aperture della cassa corrispondenti a' due estremi dell'ago due laminette di vetro mobili ad arbitrio, sopra ciascuno di essi estremi è una piastrella di avorio, stabilmente allogata, che ha divisioni picciolissime, il cui valore angolare dipende dalla distanza dal centro di sospensione; generalmente è di 15, o 20'.

Dopo aver disposto presso a poco nel piano del meridiano magnetico l'apparecchio, ed anche livellatolo con somma cura, bisogna accertarsi che il filo di seta non è torto, e poi, tasteggiando, si giunge a dirigere i microscopi *r* ed *r'* sulla linea di fede dell'ago, la cui traccia nelle due piastre d'avolio si vede. Agevole allora sarà di osservare gli scostamenti che prova, o numerando le divisioni che sono di sotto al filo passate, o seguitandone i movimenti per mezzo delle viti di richiamo, che fanno avvanzare i microscopi. Piccole lenti *p* e *p'*, mobili sulle aste *i* ed *i'*, servono a leggere la posizione od il corso di ciascun microscopio sulla traversa, che il porta e che ne regola il moto laterale.

Il cannocchiale *l* è destinato a calcolare più commodamente, epperò con maggiore certezza le vibrazioni dell'ago, quando si vuole impiegarlo a determinare le intensità magnetiche. Dinanzi dall'obbiettivo esso porta un prisma rettangolare, od uno specchio, che conduce i raggi verticali nella direzione del suo asse.

170. *Perturbazioni dell'ago calamitato*. — Parecchie cause naturali operano sull'ago calamitato o per scostarlo improvvisamente dalla sua positura, o almeno per turbare la regolarità delle sue diurne variazioni. Sembra fra tutte più efficace e sicura l'aurora boreale: sollevandosi questa meteora per le regioni del nord, il cielo è splendente di luce, e l'ago calamitato, per tutto il tempo che dura, qualche volta dieci o dodici ore, soffre un' agitazione continua ed un notevole deviamento. Generalmente la *cima* dell'arco scintillante dell' aurora boreale sta nel meridiano magnetico, e la sua *corona*, cioè il fuoco, verso di cui si slanciano i fasci infocati, che sembrano uscire dall' orizzonte o dall'arco medesimo, sempre si trova nel prolungamento quasi dell'ago d'inclinazione. Ma non ne' luoghi soltanto, dove si può l' aurora boreale vedere, è agitata la bussola; ma sì pure in grande distanza, per esempio a Parigi, quando nissuna traccia di luce non si scorge nel cielo. Ma generalmente quanto il fenomeno è più vicino, e con maggiore intensità si dimostra, tanto è l'agitazione maggiore: così, sovente la bussola della Specola prova,

o il dì o la notte, un deviamento improvviso, che ogni volta meglio di 1° s'innalza, senza che se ne possa scoprire la cagione apparente; e dopo si ha notizia che negl' istanti medesimi hanno fenomeni analoghi provato le bussole di Londra e di Pietroburgo, e qualche brillante aurora boreale è apparsa nelle regioni del nord. Adunque un osservatore avverte con la bussola dal suo gabinetto ciò che accade nelle regioni polari, siccome col barometro sa quanto segue nelle più alte regioni dell'atmosfera.

Anche i tremuoti e l'eruzioni de' vulcani sembrano influire sull'ago calamitato, ed alcune volte questi fenomeni lo discostano in un modo costante. D. Bernouilli ha veduto nel 1767 diminuire per un tremuoto l'inclinazione di un mezzo grado, ed il padre della Torre durante un eruzione del Vesuvio ha notato nella declinazione cangiamenti di parecchi gradi (4).

Da ultimo si è opinato che anche gli oragani, la neve e le bufere influiscono alquanto sull'ago calamitato; ma de' cangiamenti, intorno a quali siffatta opinione si è avuta, si vuol dare probabilmente cagione alle aurore boreali. Nondimeno se il fulmine colpisce i corpi calamitati, o cade solo in qualche distanza da essi, cangia distrugge o rovescia il lor magnetismo; infelicissimi esempi se ne sono veduti sulle navi, sovente i poli delle lor bussole sono stati capovolti dal fulmine, ed allora i naviganti, prendendo il nord pel sud, precipitavano confidentemente a dar negli scogli.

La scoverta dell'elettro-magnetismo ci spiegherà siffatti fenomeni.

171. *Intensità magnetica della terra.* — Fra' punti più importanti della teorica del magnetismo terrestre è la determinazione della sua intensità per le differenti parti della superficie del globo, o per la parte medesima in tempi diversi. Solamente in questi ultimi anni è sorto il fortunato pensiero di applicare a tal ricerca mezzi di una certa precisione capaci. Il primo ad occuparsi in tal quistione sembra che fosse stato il Graham sul finire del 1722; fece il Muschenbroek nel 1729 alcuni sforzi per risolverla; nel 1776 il Lemonnier se ne stette contento al dimostrarne l'im-

portanza; il Saussure volle far paragone della forza magnetica della terra a Ginevra e sulla vetta del Monte-Bianco; ultimamente il Borda, ripigliando la quistione in tutta la sua generalità, indicò molto da presso i mezzi di scioglierla; e subito dopo il metodo di lui venne adoperato dal Sig. Humboldt nel suo viaggio in America, non che nell'altro in Francia, in Prussia ed in Italia.

Questo metodo si fonda sulle numerose vibrazioni che fa un ago liberamente sospeso, quando si rimove un pò dal suo sito, e quindi è abbandonato a sè stesso. Se fia regolarmente calamitato, e l'asse di sospensione passa pel suo centro di gravità, esso vibrerà per lo impulso della coppia magnetica della terra, siccome farebbe partitamente ciascuna delle sue metà, spinta da una delle forze della coppia. Sicchè esso forma un vero pendolo composto, che sarà identico perfettamente, se la distribuzione del magnetismo sarà in tutti i punti della sua sostanza perfettamente la stessa; che se il fluido libero alcun cangiamento provasse, o nella quantità, o nella sua coordinazione, la risultante o avrebbe un'altra intensità od un altro punto di applicazione, e l'ago stesso formerebbe in realtà un pendolo diverso. Adunque supponendo che l'ago resti materialmente e magneticamente lo stesso, una differenza nella durata delle sue vibrazioni non potrebbe da altro procedere, se non da una differenza nell'efficacia delle forze che lo spingono, e, non cangiandosi la gravità, da una differenza nell'intensità della forza magnetica.

Or, sotto queste condizioni, le intensità della forza, e le durate delle vibrazioni sono al seguente principio ligate: che le forze son tra loro come i quadrati de' numeri delle vibrazioni fatte in un dato tempo.

Così, essendo m la forza magnetica, che opera sull'ago, quando esso fa vibrazioni n in un certo tempo, per esempio in 100'', ed essendo m' la forza, che lo spinge, quando esso fa le vibrazioni n' nello stesso tempo di 100'', e'si ha

$$\frac{m}{m'} = \frac{n^2}{n'^2} \quad (2)$$

Se si fosse, per esempio, trovato $n = 25$ ed $n' = 24$, e' si avrebbe

$$\frac{m}{m'} = \frac{625}{576} = 1,085,$$

cioè che la prima forza starebbe alla seconda come 1,085 sta a 1, o come 1085 a 1000.

Per applicare questo metodo si può far vibrare un ago, o nel piano del meridiano magnetico intorno alla linea d'inclinazione, o perpendicolarmente al meridiano magnetico intorno alla linea di declinazione; potrebbesi farlo anche vibrare in altre posizioni, ma non ne varrebbe la pena.

Vibrazioni dell'ago d'inclinazione. — Dappoichè il piano del meridiano magnetico ad ogni istante si muta, e' si vuol mettere una gran cura in situare la bussola nella sua vera direzione attuale; e dovendosi contare un gran numero di vibrazioni dell'ago, bisogna altresì porre ben mente a dare all'asse tutta la mobilità che può prendere su' due coltelli d'agata. Adempiute queste condizioni, si allontana l'ago di 3 o 4° dalla sua posizione d'equilibrio, poi si rimane a sè stesso, e, con un cronometro o con un buono oriuolo a secondi, molto accuratamente si conta il numero delle vibrazioni ch'esegue in un tempo determinato. Dopo alcune serie di successive osservazioni, delle quali si tiene della media ragione, togliesi via l'ago, e si conservi con molte cautele in un astuccio, perchè, nissun urto non soffra, nè alcuna estrania influenza magnetica; e dipoi si può portarselo ne' viaggi per ripetere simili sperimenti in diversi siti del globo.

Ma per potersi confidare ne' risultamenti, fa mestieri avere molti aghi di tal sorta, che servano l'uno di paragone all'altro, e converrà pure tornar nel sito medesimo, e farli di nuovo vibrare per esser certo che hanno bene serbato il lor magnetismo. Nella ricerca dell'inclinazione, il metodo del rivolgimento (168) può emendare gli errori da una irregolare calamitazione procedenti, o da un allontanamento dal centro di gravità: ma, nelle ricerche d'intensità, dovendo l'ago rimanere assolutamente lo

stesso, bisogna guardarsi dal calamitarlo nel verso opposto, epperò con tutt' i mezzi di verificazione si dee farsi certo, che il suo magnetismo è regolare, e ben situato il suo centro di gravità.

Vibrazioni dell' ago di declinazione. — La forza che fa vibrar l' ago di declinazione non è altro che una parte della forza magnetica della terra, ed una parte intanto più picciola, quanto è l' inclinazione maggiore, di maniera che ne' poli magnetici, dove l' inclinazione è di 90°, l' ago di declinazione non ha più forza, nè per dirigersi nè per tentennare. Generalmente, essendo i l' angolo d' inclinazione di un luogo (*fig. 242*), la forza terrestre, la cui intensità è m, si decompone in due altre giusta la regola del parallelogrammo delle forze (18): l' una verticale, avente il valore di $m\ sin\ n$, ch' è dalla sospensione distrutta; e l' altra orizzontale avente il valore di $m\ cos.\ i$, la qual è sola bastante di dirigere e di far vibrare l' ago di declinazione. Per un altro sito, dove intensità fosse m', ed i' l' inclinazione, la forza orizzontale sarebbe $m'\ cos.\ i'$, e le due forze sarebbero fra di loro, siccome i quadrati de' numeri delle vibrazioni n ed n', ch' esse fanno eseguire allo stesso ago nel tempo medesimo. Adunque si avrebbe

$$\frac{m\ cos.\ i}{m'\ cos.\ i'} = \frac{n^2}{n'^2} \text{ ovvero } \frac{m}{m'} = \frac{n^2\ cos.\ i'}{n'^2\ cos.\ i};$$

cioè che avendo in diversi luoghi osservato i numeri di vibrazioni n ed n' che lo stesso ago fa nel tempo medesimo, e' bisogna per aver la corrispondenza delle forze magnetiche, moltiplicare la corrispondenza quadrata dei numeri di vibrazioni per la corrispondenza inversa de' coseni d' inclinazione.

Sembra che questo metodo d' osservazione abbia qualche vantaggio sul precedente: 1° perchè bisogna un abilissimo artista per far un ago d' inclinazione mediocremente buono e bene equilibrato, mentre un ago di declinazione s' equilibra da sè nel guscio di carta, dov' è sospeso; 2° perchè i coltelli di agata e l' asse dell' ago d' inclinazione danno molto più strofinìo del fil di seta non torto, che

sospende l'ago di declinazione. Nulladimeno nelle vibrazioni orizzontali ci ha una invincibile sorgente di errore: avendo uno de' poli dell'ago una tendenza a immergersi di sotto all'orizzonte, di quì nasce che l'allungamento del filo di sospensione mai non passa pel centro di gravità; quindi una differenza ne' due bracci di leva dell'ago orizzontale, ed una differenza che cangia con l'inclinazione. E tanto più si rende necessario di notare questa cagione di errore, perchè la è sfuggita a' più sottili osservatori, comecchè abbastanza influisca a non rendere per niente paragonabili le osservazioni fatte in siti, dove differentissima è l'inclinazione.

Veggasi (*fig.* 277 e 278) la bussola d'intensità del signor Gambey: la cassa rotonda è di legno; e si copre con un vetro, ed è inoltre forata da due finestre rotonde opposte per guardar l'indice *i* dell'ago per mezzo del cannocchiale *l*.

Discutendo le osservazioni d'intensità fatte in diversi punti della terra, o in Europa o in America, o nell'Isole Oceaniche, del mare d'India o del mare Pacifico, a questo generico risultamento si giugne, che la più piccola è verso l'equatore magnetico, e che va crescendo siccome uom se n'allontana verso il nord od il sud. E pare che verso i poli la sia una volta e mezzo più grande che non è all'equatore. Ancora sembra che nel luogo medesimo cangi insieme con le variazioni diurne, ma le picciolissime diversità; ch'essa prova, vogliono essere da altre osservazioni confermate.

172. *Dell'azione della terra sul ferro dolce.* — La terra esercita una continua azione sopra tutte le sostanze, che hanno in sè magnetismo; ed essa come una vasta calamita agisce, che fa incessantemente sforzo per attirare o respignere i fluidi decomposti e per decomporre i fluidi naturali. Gli svariati corpi magnetici sparsi nella superficie del globo più o meno resistono a questa universale potenza, secondo l'intensità della lor forza coercitiva, ma tutti soffrono qualche modificazione. E sotto questo aspetto il ferro dolce è il corpo più notevole a studiare, conciosiachè non fa niuna resistenza alla separazione de' suoi flui-

di, nè serba niente delle azioni magnetiche sofferte. Darannoci le seguenti sperienze un' idea de' fenomeni, che manifesta.

Una sbarra di ferro due o tre piedi lunga è posta incontro ad un ago di saggio (*fig.* 239).

Quando la sbarra è verticalmente tenuta, o nella direzione quasi dell' inclinazione, acquisterà un polo australe nel suo estremo inferiore *e*, ed un polo boreale nel superiore *e'*. Il che si può agevolmente vedere per mezzo delle azioni attraenti e repellenti, che la esercita sull' uno o l' altro polo dell' ago, quando la si fa scorrere di su in giù, o di in giù in su, per porre successivamente in mostra tutte le parti della sua lunghezza.

Ad accertarsi che il ferro è privo di forza coercitiva, e che la sola azione terrestre decompone il suo magnetismo, basterà volgere la sbarra con celerità, e l' estremo *e* in su, e l' altro *e'* in giù: allora il polo australe rimane giù, ed il polo boreale su: e questa fiata il secondo sta in *e*, ed in *e'* il primo. Di tal che i fluidi si sono di botto ricomposti per la loro scambievole azione, e scomposti in senso inverso di botto per l' azione terrestre.

Quel che tanto vivamente si manifesta sur una sbarra di qualche lunghezza, con minore efficacia si mostra sur un pezzo più corto nel verso dell' inclinazione; epperò sembra quasi nullo l' effetto, quando la sbarra tiensi orizzontalmente, e soprattutto in una positura perpendicolare al meridiano magnetico.

Adunque tutt' i corpi magnetici, sotto l' influenza della calamita terrestre, vere calamite addiventano, ma con poli mobili e variabili, in guisa che basta rivolgerli di su in giù per capovolgerne i poli, e di variare alquanto la lor positura, perchè i poli soffrano qualche rimovimento nell' interno della loro sostanza. Il qual risultamento ci mostra quante cautele hanno a prendersi, volendo far con le bussole esatte osservazioni; dappoichè il ferro, ch' entra nella struttura degli edifizi, in due modi opera sugli aghi calamitati: per la decomposizione magnetica, che per cagione dell' ago stesso patisce, ed in ispezialtà pe' fluidi liberi, che ivi la terra mantiene in uno stato di separazio-

ne perpetua. E si può di leggieri con un pò di attenzione riconoscere i perturbamenti locali, che nascerebbero da siffatta cagione, peroechè l'azione terrestre, in uno spazio alquanto notevole, per esempio in una lega quadrata, altro generalmente non produce che qualche minuti di differenze o nell'inclinazione, o nella declinazione.

173. *Delle cause meccaniche e chimiche, le quali hanno influenza sulla forza coercitiva.* — Venendo una sbarra di ferro dolce sottoposta all'azione magnetica della terra, basterà batterla con alquanti colpi di martello o nell'uno o nell'altro suo estremo per fissare, in parte almeno, i fluidi decomposti, ond'essa influisce sull'ago. Sarà dopo le percosse una calamita con poli fissi, e da qualsiasi lato si volga il fluido medesimo si manifesta costantemente nella medesima estremità. Sicchè la percussione dà forza coercitiva al ferro dolce; ma questa forza è senza dubbio locale, nè altrove, fuorchè nelle particelle che hanno ricevuto l'urto; esiste; conciosiacchè, girando la sbarra, e percotendola in questa posizione inversa della precedente, si perviene a calamitarla nel lato opposto. E così se ne possono capovolgere i poli quante fiate si vuole, e, cosa pur da notarsi, dopo alcuni dì, nè di rado dopo alquante ore, la forza coercitiva è scomparsa, e bisogneranno altre percosse per riprodurla.

Questa notevole sperienza è la chiave di un gran numero di fenomeni, de' quali, non essendovi a mia notizia ninno, che ne abbia dato la vera spiegazione, tanto più volentieri discuterò. Già tutti sanno che le sostanze magnetiche quasi sempre sono in uno stato di calamitazione più o meno notevole. Un Giulio Cesare, cerusico di Rimini, notò il primo la trasformazione del ferro in calamita; e fece questa osservazione verso il 1590, sur una sbarra di ferro, che avea sostenuto qualche fabbrica di mattoni nella cima di una torre della chiesa di Sant' Agostino. Il Gassendi fece in appresso, verso il 1630, l'osservazione medesima sulla croce del campanile di S. Giovanni in Aix, ch'era caduta percossa dal fulmine; trovonne il piede corroso dalla ruggine, e fornito di tutte le proprietà della calamita. Da quel tempo le osservazioni si

sono moltiplicate, e si è già riconosciuto che un pezzo di ferro un pò irrugginito è per lo più una calamita di maggiore o minore efficacia; ch'è lo stesso del ferro fuso, dell'acciaro e dell'altre sostanze magnetiche; ed infine si è pur conosciuto che la ruggine, o l'ossidazione non è assolutamente necessaria per calamitare un corpo, e che a ciò basta di sottoporlo a qualche forza meccanica, di torcerlo, batterlo, limarlo o in qualche maniera agitarlo: nella bottega per esempio di un magnano tutti gli stromenti son calamite, nè di rado gli aghi, gl'istrumenti affilati e gli altri oggetti di acciaio danno segni di magnetismo polare. Nè in tutti questi fenomeni l'azione chimica o meccanica magnetizzano i corpi: ma sì l'azione terrestre, incessantemente agente, decompone i fluidi, è, fatta una volta la decomposizione, la forza coercitiva, risultante dagli scostamenti chimici o meccanici che le particelle soffrono, la mantiene. Ei m'è bastato per accertarmene col fatto, di paragonare le quantità di magnetismo che acquistano i corpi, secondo la posizione che loro si dà, rispetto alla direzione della forza terrestre. In una positura verticale, efficacemente si calamita per l'ossidazione o per le azioni meccaniche, ed il polo australe sta sempre giù. Minore in più obblique positure è l'effetto, ma sempre nel verso del polo boreale della terra, ch'è il dominante ne'climi nostri. E secondo quel ch'è premesso noi possiamo anche potentissime calamite formare da qualsiasi pezzo ossia con filo di ferro, ossia con sbarre di ferro o di acciaro. Per calamitare senza calamita i fili di ferro, basta tagliarne trenta o quaranta capi lunghi per esempio un piede, e verticalmente tenendoli torcerli uno per uno sopra sè stessi, finchè si rendano inflessibili e fragili; ciascuno di essi diventa efficacemente magnetico, ed uniti insieme se ne formano fasci, co'quali, per mezzo di processi che faremo noti, possono calamitare le più grosse sbarre. E per calamitare senza calamita sbarre di ferro o di acciaro, basterà per le prime percoterle tenendole verticalmente, e per le altre stropicciarle nel senso medesimo con una barra di ferro verticale.

Non essendo altro le calamite naturali che ossidi di

ferro, è probabile che debbano le magnetiche proprietà loro all' azione terrestre, che ha fatto in essi il suo effetto quando si sono formate. Imperciocchè le miniere di ferro a dì nostri esistenti non sono quanto il mondo antiche, nè ammettendo che il ferro in origine fosse nello stato suo puro e metallico, certo è che le combinazioni, in cui è inviluppato sulla superficie del globo ed in tutta l' estensione della crosta da noi coltivata, non sempre furono ciò, che sono oggidì. Il lavorio chimico, che senza posa si compie, e senza posa da tanti secoli si rinnova nel seno della terra, fa passare le più inerti particelle per un gran numero di combinazioni diverse, e cangia in mille modi i loro primi assembramenti. Le mine magnetiche, siccome gli altri elementi ponderabili, sono a mutazioni perpetue sommesse, e si può con certezza dire che ogn' istante ce n' ha che si scompongono, ed altre che ogn' istante si formano, ed i cui poli sono secondo le leggi del magnetismo generale della terra disposti.

E questa è fuor di dubbio la prima cagione che ha sviluppato nelle calamite naturali il magnetismo, o si voglia in quelle che i Chinesi da più di tre mila anni posseggono, o in quelle che furono da Pitagora e da Platone osservate, ovvero si voglia in quelle di che noi abbiamo cura oggidì e che servono alle nostre ricerche.

Sicchè quanto sappiamo, è che il solo magnetismo sviluppato può sviluppar magnetismo.

Strettissima è stata siffatta conclusione insino alla scoverta del Sig. OErsted, che ha aperto questo novello campo alle scienze dimostrando, siccome in una delle seguenti sezioni vedremo, che anche l' elettricità può sviluppar magnetismo.

174. *Dell' azione della terra sul ferro de' vascelli e de' mezzi di correggere il deviamento che ne soffre la bussola.* — Grandi masse di ferro sono ne' vascelli nostri impiegate: alcune fanno parte della struttura, e restano fisse; altre dell'armamento, e sono più o meno mobili, come i cannoni di ferro o di ghisa, le ancore le gomene i carratelli e gli attrezzi di ogni maniera. Tutti questi corpi magnetici sparsi qua e là nelle diverse parti della nave, deb-

bono esercitare ed esercitano col fatto una considerevole azione sulla bussola. E i deviamenti da questa causa prodotti tutta meritano l'attenzione de' Fisici; chè alcune volte s'elevano a 15, o 20 gradi, nè se fossero quindici o venti volte minori, non però non sarebbero bastanti di esporre i naviganti a pericoli molti gravi.

Sembra che il primo a segnalare questa sorgente di errori nelle osservazioni sul mare fu Wales, astronomo della spedizione di Cook; più in là ne fu la vera cagione indicata dal Dounie, ed il capitano Flinders, celebre per le scoverte e per l'intrepidezza sua, fu il primo che fece alcune prove felici per ripararsene. Solo da qualche anni il Sig. Bain ha richiamato l'attenzione su questo importante subietto; molti uffiziali della marina inglese l'hanno fatto scopo delle loro ricerche, ed il professore Barlow di Woolwich venne dalla Società Reale di Londra coronato pe' felici risultamenti, a'quali fu, occupandosi di tal quistione, menato. E l'opera di lui ci sarà guida in quel che diremo.

L'ago della bussola può essere in un vascello deviato: 1° Dalle decomposizioni di fluido, ch'esso medesimo eccita nelle sostanze magnetiche; 2° dal permanente stato magnetico, che dette sostanze possono conservare in virtù della loro forza coercitiva; 3° dallo stato magnetico fugace, che acquistano sotto l'influenza della calamita terrestre.

La prima cagione non può altro produrre che lievi effetti; e basta a garantirsene con certezza il situar *l'abitacolo* molto lungi da tutt'i pezzi di ferro; il che è possibile sempre.

Facile sarebbe il rimedio alla seconda cagione; dappoichè trovandosi l'ago calamitato situato, in rispetto ai diversi poli o centri magnetici della nave, ad una grandissima lontananza relativamente alla sua lunghezza, di qui procede che ognuno di tali centri operi su di esso per una coppia. E dall'unione di tutte siffatte coppie parziali, avrebbesene una risultante, che sempre sarebbe la stessa in tutt'i climi ed in tutte le posizioni del vascello. Ma questa coppia, a sua volta, si congiungerebbe con la cop-

pia terrestre, e da ciò seguirebbe il deviamento dell'ago. Ma, quando il vascello girasse sopra sè stesso intorno ad un asse verticale, serbando la coppia terrestre in un sito medesimo la direzion medesima nello spazio, e girando la coppia del vascello insieme con esso; si vede bene che ne seguirebbe un deviamento mutabile, che potrebbe acquistare un maximum a dritta del meridiano magnetico, ed un altro maximum eguale a mancina; in guisa che la media fra queste due estreme posizioni dell'ago ne darebbe la verace direzione. Forse che in altre latitudini la coppia terrestre sarà più intensa o più obliqua; ma il declinamento pur dello stesso modo si troverebbe, con la compiuta rotazion del vascello intorno di un asse verticale.

Da ultimo più delle due prime è la terza cagione potente, e gli effetti suoi, incessantemente mutabili, sì sono più malagevoli ad esser valutati e corretti. Noi supporremo un momento che operi essa sola per isviar l'ago calamitato. Allora è chiaro che tutt'i corpi magnetici del vascello diventano calamite a poli mutabili; e quando il vascello gira sopra sè stesso nell'un verso o nell'altro, siffatti corpi diversamente si offrono all'azione della terra, e provano diverse scomposizioni dal canto della stessa. I quali fenomeni, già complicatissimi nel luogo medesimo, vieppiù s'intrigano, quando, solcando i mari, il vascello passa di mano in mano in contrade, dove la coppia terrestre cangia o direzione o efficacia. Nè tutti questi diversi effetti possono esser dalla teorica o predetti o indicati solo; epperò non con altro, che con saggi più o meno ingegnosi, si posson neutralizzare. Ecco i mezzi proposti dal Sig. Barlow per giungere a questo.

Stando la nave in una rada tranquilla, dove si possa girar di bordo, scelgasi a qualche distanza un sito nella spiaggia, donde si possa scorgere in tutte le positure, che prende, girando sopra sè stessa. Colà un osservatore si ponga con una bussola ed un teodolito, ovvero altro strumento acconcio a misurare gli angoli. Un altro osservatore con uno strumento simile stia nel vascello accanto alla bussola, posta già nel abitacolo. A un dato segno si mettano gli osservatori di rimpetto, e ciascuno deter-

mini l'angolo che fa l'ago con l'asse del suo cannocchiale. Gli assi di due cannocchiali, standosi gli osservatori a rincontro non faranno che una sola e medesima linea, che diremo *linea centrale*.

Ora, non provandosi dalla bussola della riva niuno perturbamento, chiaro è che, non provandone altresì nessuno la bussola della nave, gli aghi sarebbero paralleli, e l'angolo stesso farebbero con la linea centrale, perocchè la distanza in cui sono di qualche centinaia di piedi non può fra esse produrre verun sensibile cangiamento nella declinazione. Dunque la differenza di essi due angoli sarà il deviamento prodotto da' corpi magnetici del vascello nel momento dell'osservazione. Ma immaginiamo che con manovre, facili sempre durante la calma, facciasi fare al vascello un rivolgimento compiuto, e che si faccia, ad ogni rombo di vento che esso percorre, o ad ogni angolo di 10 o 12 gradi di cui fa il giro, un'osservazione analoga alla precedente; si avrà allora in ciascuna di siffatte posizioni il valore del deviamento locale prodotto da' corpi magnetici, de' quali esso è pregno. E dopo, se facesse mestieri, si potrebbe mercè interpolazioni, trovare le deviazioni corrispondenti ad ogni grado.

L'osservatore della spiaggia, fatta questa prima operazione, toglie via la sua bussola e vi sostituisce quella del vascello, mettendola nel sito medesimo sur una specie di gabbia di legno, che può fare un intero rivolgimento intorno alla verticale del perno dell'ago. Questa gabbia rappresentala la figura 276. Veggonsi di tratto in tratto, sull'uno dei lati di essa, de' pertugi destinati a ricevere il *compensatore magnetico*; chiameremo così l'apparecchio, che dee correggere o far noto il deviamento dal ferro del vascello prodotto.

Il *compensatore magnetico* si compone di un'asta di rame rosso *t* del diametro di un pollice e mezzo, e di due piastre di ferro *f f'* di 12 in 13 pollici di diametro (misura inglese), doppie tanto che il piede quadrato pesa 3 libbre. Queste due piastre sono da un foglio di cartone divise, e compresse insieme nel centro per mezzo della vite esterna dell'asta di rame, ed agli orli con tre picciole vi-

ti di ferro; e questo è tutto l'apparecchio: si disponga come mostra la figura 276. In tal caso, la gabbia di legno trascinandosi appresso nel suo moto di rotazione il compensatore, l'ago della bussola diversamente ne' diversi azimut è impresso, e finalmente con tastamenti si giugne a fargli in tal guisa passare tutta quanta la serie delle deviazioni, che sul vascello provava. Fatto questo, notisi accuratamente la posizione del centro della piastra rispetto all'ago della bussola, ed allorchè questo ha preso sulla nave il suo posto, si aggiusta il compensatore sul piede, che lo sostiene (*fig. 275*); di modo ch'esso abbia rispetto a quella precisamente la posizione medesima.

Il deviamento con questo mezzo sembra doppio e non corretto, conciosiachè il compensatore produce un effetto appuntino uguale a quello del ferro del vascello e nel medesimo verso. Ma è raddoppiato col fatto, anzi questo dà il modo di rinvenirlo. Prima di tutto si tolga di mezzo il compensatore per fare una prima osservazione di declinazione; e si trova, a cagion di esempio, 36 gradi all'ovest. Poi riloghisi il compensatore per fare un'altra osservazione, e trovasi, per esempio, 40 gradi all'ovest. Ora essendo questo secondo risultamento maggiore del primo; ciò prova che le azioni locali accrescono la declinazione. La differenza $40 - 36 = 4$ fa scorgere che dal canto suo il compensatore di 4 gradi l'aumenta; dunque il ferro della nave altrettanto l'aumenta; sicchè la vera declinazione è $36° - 4° = 32$ gradi. Se al contrario l'osservazione fatta col compensatore desse un risultamento minore, ciò proverebbe che le azioni locali scemano il declinamento, e dovrebbe la differenza delle due osservazioni aggiungersi alla prima per avere la declinazione del luogo. Adunque fa in tutt'i casi mestieri di seguire questa regola generale: far due osservazioni; l'una senza compensatore, col compensatore l'altra; diffalcare la seconda dalla prima; e la lor differenza, *presa col segno suo,* aggiunta alla prima osservazione, sarà il risultamento della declinazione cercata.

Ma questo ingegnoso processo non è senza difficoltà nella pratica.

175. *Dell'influenza del magnetismo sul corso dei cronometri.* — Parecchi naviganti, osservatori sottili, hanno osservato che i cronometri loro non avevano il corso medesimo a bordo ed in terra. Qualche volta le differenze giungevano a 5'' in 10'' il dì. Di quanto momento sia tal fenomeno ognuno vede; perocchè tutta l'esattezza delle osservazioni nautiche e geografiche, che possono farsi a mare, dipende dall'esattezza, onde si misura il tempo. Avendo i cronometri nella struttura loro molti pezzi d'acciaro, e soprattutto pezzi mobili, che sono portati appresso dal bilancere, non è strano il supporre che però sono alle influenze magnetiche sottoposti. Di fatti, basta la prossimità di una calamita ad alterarne il cammino; esperimenti in gran numero ne han fatto prova, ed in tal guisa si è conosciuto che masse di ferro dolce, dalla terra calamitate, il fenomeno stesso producono. Adunque sopra una nave la cagione medesima travìa la bussola e turba il cammino de'cronometri; del pari si è tentato di neutralizzarla in ambidue i casi con lo stesso mezzo: ma quel che ci ha di meglio pe' cronometri finora, si è di tenerli nel sito medesimo, nella medesima positura, ed il più che si può lungi da qualsivoglia sostanza magnetica.

CAPITOLO III.

Delle leggi e della teorica del Magnetismo.

176. *Mezzi diversi di paragonare le forze magnetiche.* — Il primo mezzo che si offre per valutare le forze relative delle calamite naturali o artificiali consiste nel metterle a contatto con un medesimo pezzo di ferro, che poi si carica di pesi gradatamente crescenti, insino a che, trascinato dal peso totale, si distacca, e questo sarà il limite di ciò che la forza magnetica può sostenere. Questo mezzo non dà che un grossolano approssimamento: e subito se ne conobbe l'insufficienza; nondimeno fu quasi il solo, di cui si facesse uso fino al 1780.

In questo tempo aprì Coulomb con le sue belle scoverte novelle vie alla scienza, e finalmente sicuri metodi dette di misurare con l'estremo grado di precisione tutti gli effetti delle potenze magnetiche. Alle Memorie ch' ei pubblicò su tale soggetto (tom. 9 de' Dotti stranieri, Memorie dell'Accademia, 1784, 1785, 1789; e Memore dell'Istituto, tom. 4 e 6), noi avremo ricorso in quel che saremo per dire.

Due mezzi diversi adoperò il Coulomb per misurare la forza delle calamite: 1° le *oscillazioni* di un ago sospeso a fili di seta piatta; 2° la *torsione* de' fili di rame o di argento disposti in un apparecchio detto da lui *bilancia di torsione*, e chiamasi oggidì *bilancia di Coulomb*.

177. *Oscillazioni*. — Noi abbiamo già detto che una calamita, la quale sotto l'influenza magnetica della terra oscilla, può essere ad un pendolo composto assimigliata; dal che segue che, per trovare il valore assoluto della forza che lo sollecita, basterebbe conoscere il momento suo d'inerzia rispetto all'asse di sospensione, l'esatta positura de' suoi poli o de' suoi centri magnetici ed il numero delle oscillazioni che fa in un tempo determinato. Ma la forza assoluta, in virtù della quale una calamita compie le sue

oscillazioni, è un elemento composto dipendente insieme dall'intensità del magnetismo ch'esso ha in sè e dall'intensità del magnetismo, che ha il corpo, il quale opera su di esso; perchè, diventando per esempio doppia o l una o l'altra di siffatte intensità, anche la forza risultante sarebbe doppia, e quadrupla diverrebbe, se quelle doppie intensità venissero raddoppiate.

Noi, pel difetto di poter determinare in modo assoluto un' intensità magnetica, siamo costretti di paragonare tra loro le risultanti totali, che imprimono il moto. Il problema così diventa più semplice: ed i mutamenti d'intensità non cagionando mutamenti sensibili nella posizione de' poli, l' asse di rotazione rimane immutabile al pari de' momenti d' inerzia, epperò è lecito fondarsi su quel principio che *le forze magnetiche, le quali sollecitano una calamita son tra loro come i quadrati de' numeri d'oscillazioni, ch'essa esegue in un tempo determinato*. Dietro di ciò noi possiamo paragonare le forze magnetiche, che un corpo possiede, sia che possa oscillare da sè, sia che debba rimanere immobile in posizioni determinate.

1°. Per stabilire lo stato magnetico di un ago, sospendasi orizzontalmente in un guscio di carta o di metallo ad un riunimento di fili non torti; e si calcoli il numero n delle oscillazioni, che in un dato tempo esegue, per esempio in 10', sotto l' influenza della forza della terra; quindi, se con qualsivogliano mezzi ne venga mutata l'intensità, *senza però cangiarne il sito de' poli*, e questo secondo stato voglia al primo paragonarsi, basterà nel modo stesso sospenderla, e nuovamente contare il numero n' delle oscillazioni, ch'esso fa nel tempo medesimo di 10': la corrispondenza di queste due intensità magnetiche m ed m' sarà data dalla proporzione

$$\frac{m}{m'} = \frac{n^2}{n'^2}$$

Il qual risultamento suppone che l'azione terrestre sia stata ne' due casi la stessa, il che è molto vero, quando si opera nel sito medesimo, nè in tempi molto distanti fra loro.

2°. Per paragonare i diversi gradi di forza di una calamita, che non può esser sospesa per oscillare da sè, facciasi ne' suoi varî stati magnetici agire su di un picciolo ago di saggio, che abbia grande forza coercitiva, affinchè il suo magnetismo non sia decomposto dall' influenza; ma prima si determini lo stato di questo ago solo all' azione della terra sommesso. Sia n il numero delle oscillazioni, ch' esso fa in un tempo determinato, per l' effetto della componente orizzontale m del magnetismo terrestre; n' sia il numero delle oscillazioni ch' esso fa nel tempo medesimo, sotto l' influenza della terra e della calamita, essendo allora m' la somma delle componenti orizzontali, che su di esso agiscono; sia n'' il numero delle oscillazioni ch' esso fa, sempre nel tempo stesso, per un altro stato di calamita, essendo m'' la somma delle corrispondenti componenti orizzontali.

Per la prima e seconda sperienza si avrà

$$\frac{m'}{m}=\frac{n'^2}{n^2};$$

per la prima e terza

$$\frac{m''}{m}=\frac{n''^2}{n^2}.$$

Ma, supponendo che la calamita, di cui si cerca la forza, sia ne' due casi situata in modo, che la sua componente orizzontale stia pure nel meridiano magnetico, e cospirante con quella della terra, chiaro è che la sua forza è nel primo caso $m'-m$, e nell' altro $m''-m$: or la prima e seconda equazione rispettivamente danno

$$\frac{m'-m}{m}=\frac{n'^2-n^2}{n^2} \text{ ed } \frac{m''-m}{m}=\frac{n''^2-n^2}{n};$$

dal che si trae

$$\frac{m'-m}{m''-m}=\frac{n'^2-n^2}{n''^2-n^2}.$$

E questa è la corrispondenza delle due componenti orizzontali della calamita ne' due stati, ovvero nelle due successive posizioni, in che è stata collocata rispetto all' ago.

178. *Bilancia di torsione.* — Quando un filo metallico è teso verticalmente da un certo peso, allora prende una posizione d'equilibrio, e, facendosi girare il peso sopra sè stesso di uno o più rivolgimenti, o sol di un angolo in alcuni gradi, il filo soffre in tutta la sua lunghezza una torsione, e fa uno sforzo per ritornare a sè e ricondurre il peso alla pristina positura.

Coulomb primo di tutti studiò questa forza di torsione, e noi enuncieremo le leggi osservabili, alle quali è stato menato; e ritoccheremo questo subietto nel libro delle Azioni molecolari.

1° La forza di torsione è all' angolo di torsione proporzionale;

2° Essa, nel filo medesimo, è in ragione inversa della sua lunghezza e dalla sua tensione indipendente.

3° Ne' fili della sostanza medesima, ma di diversa spessezza, la è proporzionale alla quarta potenza dei diametri.

Siffatte leggi si sono verificate su' capelli, sulla seta e su' fili d' argento, di ferro e di ottone, di svariati diametri.

La bilancia, in cui la forza magnetica per questa forza di torsione si misura, è rappresentata nelle figure 272, 273 e 274: la figura 272 rappresenta tutto quanto l' apparecchio posto in atto, la figura 274 è un taglio orizzontale corrispondente all' estremo inferiore del filo, e la figura 273 rappresenta il *micrometro* superiore. Questo è del seguente modo composto: *ss'* è una piastra circolare, che termina il cilindro *ll'*, ed è bucata nel centro suo da una larga apertura *o*; *mm'* è un disco mobile esattamente combaciante sulla piastra *ss'*, che gira su di essa lievemente stropicciando, e mantenuto nel suo moto di rotazione da un picciol manico che dal mezzo di *ss'* si estolle; verso il centro *c* del disco *mm'* havvi un foro triangolare, uno degli angoli del quale mette capo perfettamente nel centro; ed appunto in questo angolo passa il filo *fl*; quindi va ad attaccarsi al verricello *t*, ch' è sostenuto da due pezzi fissi

p e *p'*, sopra de' quali può girare. La piastra *ss'* è in tutto il suo contorno spartita, ed il disco *mm'* porta una marca, che queste divisioni percorre, e per conseguenza indica i vari gradi di torsione, che si dà al filo nel suo estremo di sopra.

Vedesi nella figura 272 una molletta, che s'attacca all'estremo inferiore del filo: essa porta una spezie di staffa di rame sottile, dove si pongono gli aghi calamitati; e per cansare le oscillazioni prolungate di molto, adattisi alla staffa una ventola che mette capo in un vaso ripieno di acqua. Nel contorno della gabbia si appicca una striscia di carta avente le sue divisioni in gradi, la cui grandezza è dal prolungamento de' raggi determinata come *cr cr'* ec. Debbe il filo occupare il centro di siffatte divisioni, e tal condizione è adempiuta, quando un qualsiasi raggio visuale cada sopra due divisioni diametralmente opposte, per esempio sopra 0 e 180, sopra 90 e 270, ec.

Aggiustata la bilancia si determini la posizione d'equilibrio del filo, situando un ago non calamitato nella staffa; quindi vi si mette un ago calamitato del peso medesimo, e volgasi il micrometro superiore nell'uno o nell'altro verso, insino a che il piano d' equilibrio del filo coincida con la direzione di siffatto ago; allora si può essere certo che quello stia nel meridiano magnetico, e che il filo non abbia torsione. Ma supponiamo che si giri il micrometro per allontanare l' ago dalla sua positura, per portarlo, a cagion di esempio, in *c' a'* (*fig. 274*) in guisa ch' esso formi col meridiano *mm'* un angolo *aca'* di 20° L' angolo, onde si gira, sia 180°; non avendo il filo nell' estremo suo inferiore più di 20° camminato, la torsione rimastagli sarà 180° — 26° ovvero 160°; e questa è la forza, che fa equilibrio alla *forza direttrice* della terra, cioè alla componente orizzontale, che tende di ricondurre nel meridiano magnetico l'ago. Sia *m* l' intensità della forza orizzontale terrestre *fa'*; la si può decomporre in due: *p a'* una, che si distrugge, o almeno non fa volgere l'ago, e l' altra *t a'*, ch'è tutta quanta efficace; il valor di essa è *m' sen. v*, rappresentando con *v* la deviazione *av a'*. Ma gli angoli, al di sotto di 15 in 20° possono sensibilmente

esser presi pe' seni, dunque, in questi limiti, mv esprime la forza direttrice.

Nell' esempio che ci occupa $v = 20°$; così, $20° m$ è la forza ch'è bilanciata da una torsione di 160°; ed essendo la forza di torsione proporzionale all' angolo di torsione, risulta infine che per 1° di deviamento, la forza direttrice sarà soltanto di $\frac{160}{20} = 8$. Generalmente noi così ricondurremo la forza direttrice ad 1° di distanza.

Avendo l'ago medesimo un'altra quantità di magnetismo ricevuta, bisognerebbe girare, per esempio, il micrometro di 495° per allontanarlo di 15°; allora la forza sua direttrice sarebbe $\frac{495-15}{15} = \frac{480}{15} = 32$; cioè precisamente quadrupla di quanto era nella prima sperienza.

Per determinare la forza di una calamita, che non può esser essa medesima orizzontalmente sospesa nella bilancia, la si faccia agire sull' ago della precedente sperienza, e per maggiore semplicità, dispongasi in modo che il suo centro di azione cada sensibilmente in *a* (*fig.* 274). Girisi allora il micrometro per avere uno sviamento minore di 20°, ed è facil vedere come gli esperimenti siano condotti a fine o che la calamita, la quale si prova, operi per attrazione, ovvero sia per repulsione. Nel primo caso la forza direttrice è la somma delle azioni della terra e della calamita; n' è la differenza nel secondo.

179. *Le attrazioni e le repulsioni magnetiche sono in ragione inversa del quadrato della distanza.* — Questa legge fondamentale del magnetismo era stata da alcuni fisici immaginata, ma Coulomb è il primo che ne abbia data la stretta dimostrazione con i due metodi, di cui ora faremo parola.

1.° *Per mezzo delle oscillazioni.* Un piccolo ago di prova, ad un fil di cotone sospeso, vien posto in arbitrio degli agitamenti dell'aria; farà quindici oscillazioni in 1'. Sia m la forza orizzontale della terra, che lo sollecita: facciasi agire su di esso il polo attrattivo di un lungo filo di acciaro, efficacemente calamitato, e mantenuto verticalmente nel piano del meridiano magnetico.

Con delle sperienze preparatorie si ravvisa che, per-

ottenere il maggior effetto possibile, bisogna che l'estremità agente del fil d'acciaro *oltrepassi* di circa 10 linee il piano orizzontale dell'ago; adunque s'immaginerà che il filo è disposto così.

In una prima sperienza, essendo l'ago a 4 pollici di distanza dal filo, esso farà 41 oscillazioni in 1'; sia m' la forza operante su di esso.

In un'altra sperienza essendo l'ago distante 8 pollici, farà 24 oscillazioni in 1'; m'' sia la forza che opera su di esso. Si avrà

$$\frac{m'}{m} = \frac{(41)^2}{(15)^2} \qquad \frac{m''}{m} = \frac{(24)^2}{(15)^2}.$$

La forza orizzontale del filo è $m' - m$ nella prima sperienza, ed $m'' - m$ nell'altra, e dalle due precedenti equazioni risulta:

$$\frac{m' - m}{m'' - m} = \frac{(41)^2 - (15)^2}{(24)^2 - (15)^2} = \frac{1456}{351} = 4,1.$$

Sicchè nella seconda sperienza, in che la forza è ad una doppia distanza, l'intensità sua è quasi quattro volte più piccola.

La legge medesima vale per distanze maggiori, purchè abbiasi avuto cura di correggere i risultamenti dell'influenza del polo ripulsivo del filo, che allora diventa sensibile.

2° *Per mezzo della torsione.* Ancora in questo metodo vogliono adoperarsi lunghissimi fili, per evitar l'influenza de' poli, che non sono in cospetto. I fili di Coulomb erano 24 pollici lunghi, 1 linea $\frac{1}{2}$ di diametro. Quello di tali fili ch' era nella bilancia aveva una forza direttrice di 35° di torsione per 1° di distanza (178); un secondo filo simile e del pari fortissimamente calamitato, fu posto verticalmente nella bilancia, col polo repulsivo in giù e con l'estremo inferiore cadente ad un pollice circa di sotto al livello dell'altra; in guisa che se il primo non fosse stato respinto, il lor punto d'*intersecazione* o d'in-

crocicchiamento, sarebbesi rinvenuto ad un pollice dall' estremità di ciascuno. Ma il filo sospeso fu vivamente scacciato, nè si fermò che a 24° gradi del meridiano magnetico; gli è ciò che noi diciamo sua prima posizione. Per dargliene un' altra il micrometro superiore venne girato per tre circonferenze, ovvero 1080°, ed il filo si approssimò a 17° del meridiano. Da ultimo fu il micrometro, per dargliene una terza, per cinque circonferenze girato, il che in tutto forma otto circonferenze, ossia 2880°, e questa volta si approssimò a 12° del meridiano.

Era l'ago sospeso, nella prima posizione, richiamato nel meridiano dalla forza terrestre e dalla torsione di 24° del filo. Ma la forza terrestre essendo, come già abbiamo detto, di 35° di torsione per 1° di allontanamento; sarebbe per 24° di 840°, che danno, aggiunti a' 24, una forza totale di 864°.

Nella seconda posizione poi veniva attirato dalla forza terrestre agente a 17°, e quindi equivalente a $35 \times 17 = 595$ gradi di torsione; e per la torsione del filo ch'era di $1020 + 17 = 1097$, il che forma 1698.

Da ultimo attiravalo nella terza posizione la forza terrestre agente a 12°, ed equivalente a $25 \times 12 = 420$, e per la torsione ch'era di $2880 + 12 = 2892$, il che forma 3312.

Sicchè, essendo le distanze 24, 17 e 12; le corrispondenti forze ripulsive sono 264, 1098 e 1692, il che dà quasi la ragione inversa del quadrato delle distanze.

Si può di leggieri scorgere come il metodo stesso menerebbe a determinar la legge delle attrazioni.

In verità queste forze, sulle quali noi abbiamo testè operato, sono risultanti di tutte le azioni parziali del magnetismo delle calamite, e di quello della terra; ma siccome dalle attrazioni planetarie, che sopra masse prodigiose vengono esercitate, si è potuto dedurre le azioni di tutte le molecole della materia ponderabile, noi possiamo parimente pe' fluidi magnetici concludere che la legge delle risultanti da noi osservata è realmente la legge elementare, secondo la quale tutte le particelle di sostanza magnetica scambievolmente si sollecitano. Noi siamo in tal modo indotti in questa verità, che debb'essere il fondamen-

to di tutta la teorica, cioè che le molecole del fluido medesimo si respingono e che le molecole di fluidi contrari s' attirano in ragione inversa del quadrato della distanza.

180. *Distribuzione del magnetismo nelle calamite di varie forme e determinazione de' poli.* I due metodi, che ci hanno testè menati alla scoverta delle leggi attrattive e repulsive del magnetismo, possiamo anche adoperarli alla determinazione delle intensità magnetiche in ciascun punto di un ago calamitato.

Un picciolo ago da prova (*fig.* 252), lungo 6 linee, sospeso ad un filo di bozzolo fa le oscillazioni n in 1' sotto l'influenza della forza m, componente orizzontale della terra. A poche linee di distanza gli si offre un filo calamitato verticale $a\,b$ (*fig.* 251), che punto non lo svolge dal meridiano, ma sì lo fa vivamente oscillare; allora esso esegue le oscillazioni n' in 1'. Sia m' la forza che lo sollecita. Ad una picciola distanza la sezione s', che trovasi dirimpetto all'ago e le sezioni vicine siccome a' b', operano con tutta la loro energia, mentre le altre con una obbliquità sempre crescente, e però con una forza sempre minore. Adunque noi possiamo considerare la forza attualmente operante della calamita, siccome appartenente alla sezione s'. Del pari, se noi presentiamo l'ago alla distanza medesima, dirimpetto alla sezione s'', noi otterremo le oscillazioni n'' in 1'; essendo m'' la forza, che questo effetto produce, noi avremo

$$\frac{m' - m}{m'' - m} = \frac{n'^2 - n^2}{n''^2 - n^2}.$$

Le forze $m' - m$ ed $m'' - m$ sono le intensità magnetiche della calamita pe' punti che stanno in cospetto dell'ago, e noi possiamo in tal guisa paragonare le intensità magnetiche delle diverse parti in tutta quanta la lunghezza de' fili o delle sbarre calamitate. Se non che, quando si giugne dirimpetto all' estremo a, bisogna raddoppiar l' effetto ottenuto, conciosiachè avrebbesi manifestamente un doppio effetto, se la calamita tuttavia procedesse, e desse al di sotto di a parti tanto efficaci, quanto quelle che sono al di sopra. Geometricamente possono e-

sprimersi questi risultamenti, elevando perpendicolari sulle diverse parti le quali rappresentino le intensità osservate. Gli estremi di siffatte perpendicolari formeranno una curva, che dicesi curva delle intensità, e mostra all' occhio tutta la distribuzione de' fluidi magnetici. La figura 250 rappresenta la curva rinvenuta dal Coulomb con un fil di acciaro, del quale *am* è lunghezza mezzana. Nel mezzo l' intensità è nulla, ma di qui va sino agli estremi crescendo. Pe' fili o lamine di diversa lunghezza questa curva è precisamente la stessa, purchè la lunghezza oltrepassi i 6 od 8 pollici; essa non fa altro in tal caso che trasportarsi verso gli estremi, lasciando nel mezzo uno spazio più o meno grande, dove l' intensità è notabilmente nulla. Risulta da questa segnalata proprietà: che al di sopra di 6 od 8 pollici di lunghezza tutte le calamite della forza medesima hanno i loro poli alla medesima distanza dagli estremi, imperciocchè non essendo altro i poli che i punti di applicazione delle risultanti totali, essi punti sono nel medesimo modo situati, non appena le intensità o le componenti parziali seguono la legge medesima.

Di più Coulomb ha col calcolo dimostrato che i poli trovansi a diciotto linee dagli estremi; ed ha nel tempo stesso dato per le calamite cortissime quest'altra legge: che i poli loro sono quasi al terzo della lunghezza mezzana, ovvero al sesto dell' intera lunghezza, cominciando dagli estremi. È quest' ultimo risultamento una specie di limite, al quale i poli sempreppiù si approssimano siccome la lunghezza diminuisce. Di tal che in un ago, per esempio di tre pollici, i poli saranno ad una distanza alquanto più grande di 6 linee, cioè a 7 in 8.

I quali risultamenti suppongono che le calamite abbiano picciolissime dimensioni trasversali rispetto alla loro lunghezza, ch' esse hanno una figura in tutta la loro estensione regolare, ed altresì che sono regolarmente calamitate. Non essendo queste condizioni adempiute, i poli non si possono più teoricamente conoscere; ma bisognerà allora direttamente cercarli col picciolo ago da prova. Nei rombi i poli si accostano al centro; negli aghi a freccia, che si usa adoperare, è malagevole avere una calamita-

zione regolare e poli costanti; generalmente nelle piastre larghe o doppie rispetto alla lunghezza loro, ci ha poli moltiplici ovvero punti conseguenti; in fine negli anelli d'acciaro molto omogenei, possono aversi poli o diametralmente o irregolarmente opposti, ma la calamitazione regolare non fa scorgere al di fuori nessuna traccia di magnetismo: la qual proprietà è una conseguenza della teorica, di cui tenteremo dare un'immagine.

181. *Teorica del magnetismo* — Gli antichi non sapevano altro della calamita, che la sua attrazione pel ferro, e su questo fatto solo potevano le loro spiegazioni cadere: ora in qualunque secolo, ogni volta che si è voluto spiegare onninamente un fatto unico nella sua specie, altro non si è potuto fare ch'il fatto medesimo esprimere con parole vaghe e metaforiche, ovvero qualche legame, che si suppone abbia con un altro fatto più generale. Talete dunque ed Anassagora diceano che la calamita è dotata di una anima atta di attrarre e di muovere il ferro; Cornelio Gemma (1535) che tra il ferro e la calamita eranvi degl'invisibili fili raggianti; altri ch'eravi una cotal simpatia; altri una somiglianza, altri una differenza di parti, le quali spiegazioni tutte non esprimono altro che il fatto. Epicuro supponeva che gli atomi di ferro convengono con quelli della calamita, ed insieme s'attaccano; Plutarco immaginava che d'intorno alla calamita fossevi un'emanazione bastante di produrre il voto; altri volevano piuttosto supporre de' vapori; Cardano pretendeva che il ferro è attirato; dappoichè è freddo; e Costeo da Lodi, medico, risguardava il ferro come nutrimento della calamita: paragonando in tal guisa i fenomeni magnetici a qualche altro fenomeno naturale, bene potevano le ipotesi moltiplicarsi, siccome non si è mancato di moltiplicarle senza fine. Arditissimo poi fu Gilbert condannando tutte queste spiegazioni ed altre cosiffatte; ma in pari tempo filosofo molto buono a non proporne alcuna in vece di esse. Venne in seguito Cartesio con i suoi vortici e con la sua materia scannellata; siccome ogni altra cosa, così spiegò pure il magnetismo; fu il suo sistema adottato, e per più di un secolo venne coronato nelle opere de' suoi discepoli.

Cartesio adunque suppone che un vortice di materia sottile passi rapidamente sopra la terra, andando dall'equatore verso ciascuno de' poli; la materia, come porosa, nol ferma punto, ma le sostanze magnetiche, avendo molecole ramose molto insieme mescolate e tessute, oppongono al vortice una resistenza maggiore di tutti gli altri corpi; ed ecco perchè sono dirette. Intanto il vortice passa più agevolmente in un senso che nell'altro; conciossiachè havvi sempre una dell'estremità, che a preferenza girasi verso il nord. Il perchè, aggiunge Cartesio, i pori del ferro sono arricciati di peli che cedono e si curvano, quando il vortice entra da un lato, ma si sollevano, quando esso vuole entrar per l'opposto. Possono, in vece de' peli, immaginarsi delle valvole, od un altro qualsiasi impedimento. Tali sono le idee fondamentali del sistema, onde sonosi spiegati i fenomeni magnetici insino al tempo d'Epino. Noi non sappiamo oggidì che ci debba maggiormente stupire, o che la potente intelligenza di Cartesio abbia tali spiegazioni inventato, e siavisi fermata sopra, ovvero che cento anni dopo lui, i più chiari uomini del secolo loro, come Eulero e Daniello Bernouilli, non abbiano potuto altro che riprodurre esso sistema, afforzandolo della loro autorità ed approvazione.

Finalmente Epino tentò di sottomettere al calcolo tutti quanti i fenomeni magnetici, e di mostrare ch'essi possono bene dedursi dalle leggi semplici dell'attrazione e repulsione: ciò significava far ritorno al vero metodo sperimentale, ed alzare quella specie di velo, onde lo spirito di sistema inviluppa la realtà delle cose. Epino non aveva ammesso più di un solo fluido magnetico: dopo di lui, e serbando affatto i suoi principi, si suppose che ci avesse due fluidi differenti; che la combinazione loro formava lo stato naturale e la separazione lo stato magnetico: ma si credeva che questi fluidi, una volta separati, potevano attraversare i corpi e spandersi nella massa loro.

Ultimamente Coulomb stabilì i veri principi della teorica da noi ricevuta oggidì; ei conservò i due fluidi, ma fè vedere che questi non possono provare altro ne' corpi che un insensibile rimovimento: il che risulta di fatto da-

gli esperimenti riferiti di sopra. Sicchè, noi supponiamo 1° che il *volume apparente* di una sostanza magnetica si trovi composto di un gran numero di piccioli interstizi, ne' quali ci ha magnetismo, e di un gran numero di altri, dove non ve ne ha; 2° che i due fluidi contenuti in ciascun piccolo spazio magnetico possono essere separati, quando la forza, che gli urta, è bastante di vincere la forza coercitiva; ch' essi possono allogarsi secondo le leggi richieste dall' equilibrio, ma non possono uscire mai fuori della piccola estensione, in cui sono stati fin dal principio rinchiusi; quanto mai sta loro intorno non può penetrare ad essi.

I piccioli intervalli, dove ci ha magnetismo, si chiamano *elementi magnetici*; e quelli, dove non ce ne ha, *elementi non magnetici*. Noi non sappiamo se gli elementi magnetici sono gl' intervalli, che separano gli atomi della materia ponderabile, ovvero s' essi sono gli atomi stessi, siccome ci è pur ignoto s' essi sono intervalli di un aggregamento d' atomi, o di una molecola secondaria, ovvero s'essi sono le aggregazioni o le malecole stesse. La somma degli elementi magnetici e de' non magnetici forma il volume apparente di un corpo; la corrispondenza di queste due somme può cangiare con la temperatura e con la natura delle sostanze; e siffatti cangiamenti hanno una grande influenza sulla distribuzione e sull' intensità del magnetismo.

Il signor Poisson ha sottoposto al calcolo queste ipotesi di Coulomb; ma ci è impossibile di dare in questo luogo un' immagine della sua dotta analisi.

CAPITOLO IV.

De' processi di calamitazione, e delle cause che modificano la forza coercitiva.

182. *Processo di Duhamel*, o *del tocco separato.* — Consiste questo processo in disporre capo a capo sur una linea medesima e ad una certa distanza (*fig.* 255) due fasci potenti $f f'$, li cui poli oppostisi guardano (non altro che gli estremi loro sonosi rappresentati, essendo simili a quello della figura 249). Sopra di essi fasci, i quali durante l' esperienza rimangono *fissi*, vien posto l'ago da calamitare in modo ch'esso s' estenda più di 15 in 18 linee sopra ciascuno estremo, o soltanto di 7 in 8 linee, se non è più di 3 a 4 pollici lungo. Allora si prendono due sbarre sdrucciolevoli g e g', l' una nella mano diritta e nella sinistra l'altra; siano nel mezzo dell'ago allogate, e su di quello di 25 o 30° s'inclinino, e separandole, facciansi scorrere sotto questo inclinamento di un moto lento ed uniforme, perch' essi giungano nel tempo stesso a ciascuno de' suoi estremi; ivi si *sollevano*, si conducono nel mezzo, e l' operazione medesima si ripete, insino a che l' ago abbia ricevuto il numero delle frizioni necessarie. Quando l' ago è troppo esile o troppo fragile per sopportare il peso delle sbarre scorrevoli, si sostiene con un pezzo di legno l, sopra di cui si può anche fissarlo perchè niun rimovimento non soffra durante l' operazione. Ed è chiaro che ognuna delle sbarre g e g' dee toccar l'ago col polo medesimo della sbarra fissa, verso la quale cammina. Questo processo è il più vantaggioso per calamitare, nel più compiuto e regolar modo gli aghi di bussole e le lamine, la cui doppiezza non oltrepassi 4, o 5 millimetri.

183. *Processo d' Epino, o del doppio tocco.* — Quando le lamine hanno una doppiezza maggiore di 4 ovvero 5 millimetri, il metodo testè menzionato non è sufficiente di calamitarle a saturazione, ed è allora necessario

avere ricorso al processo d'Epino, il quale non differisce dal primo che per la disposizione e pel movimento delle sbarre scorrevoli. Entrambe queste sbarre sono collocate nel mezzo della lamina, ciascuna toccandola col polo del nome stesso di quello della calamita fissa, al qual esso è più vicino (*fig. 254*); ma, questa volta, la loro inclinazione su di essa è solo di 15 o 20°, e si conducono *insieme*, dal mezzo verso l'una dell'estremità, poi da questa estremità verso l'altra, percorrendo tutta quanta la lunghezza della lamina: in cosiffatta maniera si ripetono le frizioni od il movimento del *va-e-viene*, da un capo della lamina all' altra, con la doppia condizione di terminare nel mezzo, e di arrivarvi ritornando dall'estremo della diritta, se le frizioni sonosi cominciate andando verso la sinistra, o reciprocamente; è il solo mezzo di passare lo stesso numero di volte sopra ciascuna metà. Per rendere questa manovra più agevole, le calamite scorrevoli possono stabilirsi in una specie di triangolo di legno o di rame; ma, in tutt'i casi, bisogna por mente di rimanere fra i loro due inferiori estremi una distanza di 5 o 6 millimetri, che si mantiene sempre la stessa, per mezzo di una picciola lamina *l* di legno, di rame o di piombo.

Questo processo fu immaginato da Epino, il cui nome conserva, e si chiama eziandio *processo del doppio tocco*, dappoichè le sbarre scorrevoli *toccano in una volta* la stessa metà della lamina che si calamita, dove che nel processo di Duhamel, esse *toccano separatamente* ciascuna delle sue metà.

Il doppio tocco è da anteporre al *tocco separato*, quando si tratta di calamitare sbarre doppie, dappoichè esso ivi sviluppa una quantità maggiore di magnetismo: ma non debb'essere impiegato giammai, quando si tratta di aghi da bussola, o di lamine destinate a ricerche di precisione, conciossiachè allora due inconvenienti offre, che bisogna accuratamente evitare: primamente, esso dà *sempre* poli di una forza ineguale; in secondo luogo dà spesso de' punti conseguenti, soprattutto quando le lamine hanno una grande lunghezza.

184. *Del punto di saturazione.* — La quantità di ma-

gnetismo, che *prende* un corpo, va sempre crescendo con la forza delle sbarre che servono a calamitarlo; ma la quantità di magnetismo ch'esso *conserva*, può avere un certo *limite*, che appellasi *punto di saturazione*. Un ago, per cagion d'esempio, che fa solo 100 oscillazioni in 100'', quando con deboli sbarre si calamita, può queste 100 oscillazioni fare in 90'', in 80'', in 70'' ecc., quando si calamita con uno de' due metodi precedenti, con sbarre fisse, o scorrevoli di una forza gradatamente crescente. Ma in seguito, abbandonato a sè stesso dopo ciascuna di tali operazioni, presenta i fenomeni che seguono: di sotto ad una determinata intensità magnetica, a quella, per esempio corrispondente a 100 oscillazioni in 40'', esso conserva tutto il magnetismo ricevuto, val dire che dopo mesi ed anni, così come immediatamente dopo la calamitazione, impiegherà lo stesso tempo a fare 100 oscillazioni: ma le intensità maggiori, come quelle, che gli fanno far 100 oscillazioni in 30'' o in 20'', più o meno celeremente decresceranno col tempo; da ultimo l'ago ritornerà al punto di far le sue 100 oscillazioni in 40'', e questo limite di intensità sarà il suo punto di saturazione. Dietro di che rendesi manifesto che il punto di saturazione di una lamina ovvero di un ago non da altro, che dalla sua forza coercitiva, dipende, e non mica dalla forza delle calamite, che hanno servito a sviluppare il suo magnetismo.

Universalmente pretendono che i corpi *soprasaturati* di magnetismo ricadono *immediatamente* nel punto di saturazione: ma bene ho potuto, nel tempo delle mie investigazioni magnetiche, notare de' corpi svariatissimi nella natura loro, nelle loro dimensioni, e ne' gradi della lor forza coercitiva, ed io ho sperimentato sempre che il punto di saturazione non è un limite, quanto si crede, costante: primamente, sempre dopo la calamitazione vi ha *una reazione de' fluidi*, la quale cangia la loro disposizione, e qualche fiata l' intensità magnetica aumenta; in secondo luogo gli aghi soprasaturati perdono lentissimamente l'eccesso de' loro fluidi, nè non è raro vederli, dopo parecchi mesi; ancora sperimentare qualche leggere variazioni. Pare inutile aggiugnere che in siffatte osservazioni vuolsi

tener ragione de' cangiamenti di temperatura, e delle altre cause accidentali, che potrebbero avere influenza sulle intensità magnetiche.

Per conoscer se un ago è calamitato a saturazione, altro mezzo non ci ha che ***ricalamitarlo nel senso medesimo*** con sbarre più efficaci di quelle, che lo hanno calamitato la prima volta. Se in tal caso esso acquista un'intensità molto maggiore, il che si verifica con l'uno de metodi indicati, certo è che non era saturato; ma se non acquista che un debole accrescimento d'intensità, che perde dopo col tempo, ciò sarà argomento ch'era già pervenuto al punto di saturazione.

Ma non bisogna credere ch'ei si possa accrescere senza misura l'intensità magnetica di un ago, dandogli un numero grande di frizioni con deboli sbarre: al di là di un termine dato, gli stropiccii novelli non aggiungon più niente, e questo termine accade quando la resistenza della forza coercitiva è uguale alla potenza decomponente delle sbarre.

E non si vuole credere nemmeno che un ago, da possenti sbarre calamitato, possa, senza sconcio, esser dopo novellamente calamitato con sbarre scorrevoli, di una intensità minore; perocchè queste, anche operanti nel senso medesimo delle prime, fannogli a poco a poco mancare del magnetismo suo, e lo conducono in fine al grado d'intensità, ch'esse avrebbono potuto comunicargli. Questo effetto notabile è un'altra prova che le sbarre scorrevoli non magnetizzano, se non effettuando in ciascheduna molecola, decomposizioni e ricomposizioni successive de'due fluidi.

185. ***Dell'influenza della tempera sulla forza coercitiva.*** — Il più sicuro mezzo di temperare l'acciaro a diversi gradi paragonabili tra loro, consiste nel dargli fin dal principio la ***più dura tempera***, e poscia ***ricuocerlo*** gradatamente fino a un punto determinato; in guisa che ***i vari gradi di tempera*** non sono in realtà che ***i diversi gradi di cottura.***

Per dare ad una sbarra di acciaio la più dura tempera, deesi riscaldarla fino al rosso ***ciriegia chiaro***, ed

incontanente gittarla in una gran massa di acqua fredda. Il pronto raffreddamento genera la tempera. Adunque, perchè una tempera uguale riceva, ne si *contorca*, importa molto che il freddo l'inviluppi e la colpisca all'istante in tutte le parti sue. L'acciaro può temperarsi nell'olio, nel sego, nel mercurio, nel diaccio, in soluzioni di sostanze diverse, ne' miscugli frigorifici ancora: sembra che queste differenti maniere di raffreddamento abbiano influenza sulle proprietà meccaniche delle molle, de' tagli o delle punte, ma non pare che modifichino sensibilmente le proprietà magnetiche dell'acciaro.

Per *ricuocere* l'acciaio temperato, scaldasi uniformemente sur un letto di carbone polverizzato, o semplicemente in pezzi più o meno grossi sminuzzati, secondo la cottura che se ne vuole avere. La difficoltà grande consiste nel misurare in tal caso i diversi gradi di calore: ma l'acciaro è fornito di una notevole proprietà, che permette di valutare molto prossimamente la temperatura che prova. Quando si riscalda in tal guisa, la sua superficie prende colori vivaci, i quali si succedono con molta lentezza a misura che il calore cresce: dapprima, al rilucente splendor del metallo una gradazione di giallo chiaro o *giallo paglino* succede; in una temperatura alquanto più alta questa gradazione si tramuta in *arancio*, dopo in *arancio cupo*, in seguito in *rosso violetto*, quindi in *turchino vivo*, poscia in un colore verdastro, molto brillante, che dicesi *colore di acqua*. Queste gradazioni, perfettamente distinte, corrispondono a temperature, le quali non sono valutate in gradi centigradi, ma tali sono, che havvi meglio di dugento gradi di differenza fra il giallo paglino ed il colore di acqua. La prima di siffatte gradazioni sembra corrispondere a quasi 200° e la seconda a circa 450°. Dipoi la cottura può spingersi infino al *rosso oscuro*, al *rosso*, al *rosso ciriegia*, al *rosso ciriegia chiara*, che fa scomparire qualunque specie di tempera, quando l'acciaro di questa temperatura uscendo, liberamente si raffredda nell'aria.

Ora per determinare l'influenza della tempera, prendasi una lamina di acciaio, si temperi fino al ciriegia chia-

ro, si calamiti a saturazione, e dopo si osservi quanto tempo impiega a fare 100 oscillazioni; quindi si torni a cuocere di mano in mano fino al giallo paglino, all' arancio cupo, al turchino, al colore di acqua, ecc., ritraendola dopo ciascun grado di cottura, per calamitarla a saturazione e farle fare 100 oscillazioni, alla cui durata si ponga mente. Ben è chiaro che le diverse intensità magnetiche di siffatta lamina saranno tra loro in ragione inversa de' quadrati de' tempi osservati. Ed in questo modo si perviene a comprovare col fatto: 1° che le lamine, le quali hanno ricevuta la più dura tempera, sono dotate della maggiore forza coercitiva, epperò acquistano la maggiore intensità magnetica, quando si calamitano con sbarre molto potenti; 2° che le lamine ricotte al turchino delle molle, ed anche al colore di acqua, conservano abbastanza forza coercitiva per acquistare un' intensità magnetica grande. Ora, l' acciaio temperato duro essendo fragile come il vetro, si trova sempre pro a tornare a cuocere gli aghi fino al turchino, dappoichè pochissimo perde in intensità magnetica, ed in tal modo si evitano tutti gli accidenti che potrebbono derivare da una rottura o da qualche cangiamenti di forma.

Ma vuolsi nondimeno notare che l' acciaro non sempre fa, come testè abbiamo detto: alcune volte prende inevitabilmente de' punti conseguenti, quando è duro temperato; altre volte non acquista il maximum di intensità magnetica, se non dopo essere stato ricotto insino al rosso oscuro od al rosso eziandio.

186. *Influenza del calore sul magnetismo.* — Noi abbiamo già detto che una calamita artificiale o naturale, riscaldata insino al rosso bianco, perde del tutto il suo magnetismo, in guisa ch' essa, dopo il suo raffreddamento, non è altro che un inerte corpo senza nè forza direttrice, nè forza magnetica: la qual osservazione è antichissima, ed era gia stata fatta da Gilbert. Ma questi corpi, perdendo in tal modo i loro fluidi liberi, non perdono già la proprietà di ritornare ad esser magnetici, calamitandoli di nuovo co' processi già da noi fatti noti; se non che la forza loro coercitiva è mutata: quella delle naturali calamite è diminuita, senza che si possa riprodurla, e quella delle

artificiali è distrutta insino a che venga ristabilita da una tempera novella.

Ma questa ricomposizione del magnetismo, per l'influenza del calore, non si fa subitamente alla temperatura rossa: bensì accade gradatamente, siccome la temperatura s'innalza. Per convincersene, prendasi una sbarra calamitata, la cui forza si osservi contando la durata di un certo numero di oscillazioni; quindi si conduca di mano in mano a differenti gradi di calore, e lascisi, in ogni volta, raffreddare per osservar di nuovo la sua magnetica intensità: tutte queste intensità formano una serie decrescente dal punto di partenza fino alla più alta temperatura, cui si pervenga.

Il sig. Kupffer, che ha fatto su questo soggetto numerevoli osservazioni, spiega in un modo soddisfacente tutt'i risultamenti da lui ottenuti, supponendo che ogni grado di elevazione di temperatura aumenti della medesima quantità la durata di un numero medesimo di oscillazioni. Per esempio da 0 a 30° R., ciascun grado di temperatura accresce di un mezzo secondo la durata di 300 oscillazioni di un ago, che a 10° fa 300 oscillazioni in 784'', 5. Ma finora l'esperienze non comprendono ancora una estensione assai grande della scala termometrica, perchè si possa con tutta fiducia applicare siffatta legge.

Il sig. Kupffer ha veduto altresì ch'ei bisogna un tempo lunghissimo perchè una data temperatura compia sur una sbarra tutta quanta la ricomposizione ch'è bastante di produrre. Un ago, per cagion di esempio che diverse fiate sia stato immerso nell'acqua bollente, dove rimaneva 10' ogni volta, solo alla sesta immersione ha perduto tutto il magnetismo che potea perdere: in sul principio esso non impiegava che 578'' per far 200 oscillazioni; dopo la 1ª immersione ne impiegava 637'', 5; dopo la 2ª 642, 645 dopo la 3ª; dopo la 4ª 647; dopo la 5ª 650, 5; 652 dopo la 6ª; e dopo la 7ª altrettanto.

Ecco un altro effetto del calore, al quale non si è posto mente abastanza: alla temperatura del rosso ciriegia le calamite, l'acciaro ed il ferro non solo perdono il magnetismo libero, che possono possedere, ma di vantaggio

non sono più atti di poterne ricevere la minima traccia; per tutto il tempo che sono a questa temperatura sommessi, essi paiono come legno o pietra, interamente insensibili all'azione decomponente delle sbarre più forti. Sicchè le calamite, l'acciaro ed il ferro hanno un *limite magnetico*, e questo limite si trova quasi verso la temperatura del rosso ciriegia.

Alcune analogie molte notabili fra le distanze degli atomi de' corpi e le loro magnetiche proprietà m' aveano indotto a pensare che il limite magnetico de' diversi corpi dovea trovarsi in temperature differentissime, e l' ho col fatto comprovato con l'esperienza.

1° Che il cobalto non cessa di esser magnetico mai, o meglio che il suo limite magnetico è ad una temperatura più alta, che il rosso bianco più rilucente;

2° Che il cromo ha il suo limite magnetico alquanto al di sotto della temperatura rossa oscura;

3° Che il nickel ha il suo limite magnetico verso 350° quasi alla temperatura della fusione del zinco;

4° Da ultimo che il manganese ha il suo limite magnetico alla temperatura di 20 a 25° sotto 0°.

Gli esperimenti su' cinque corpi semplici magnetici, il manganese, il nickel, il cromo, il ferro ed il cobalto sembrano provare:

1° Che il calore non opera sul magnetismo, se non per la distanza più o meno grande, che stabilisce fra gli atomi de' corpi;

2° Che tutte le sostanze diventerebbero magnetiche, se si potesse con una qualsiasi azione ravvicinare i loro atomi ad una convenevol distanza.

Questo è quasi tutto ciò che noi conosciamo fino al presente delle influenze del calore su' fluidi magnetici; ma giova sperare che un soggetto sì bello e sì vasto di ricerche non sarà lungamente negletto, e che quanto prima se ne potrà trarre qualche fondamentale scoverta.

187. *Delle cagioni che possono calamitare le sostanze magnetiche.* Noi abbiamo testè veduto che il calore è una cagione potentissima per determinare la ricomposizione del magnetismo libero, ma ch' è totalmente ineffi-

cace a determinare la separazione de' fluidi; almeno egli è stato fino al presente impossibile di ottener col calore la menoma traccia di calamitazione, anche ne' corpi, dove l' equilibrio magnetico è più facile a venir meno. Sicchè il magnetismo ed il calore sono agenti naturali, che non sembrano avere alcuna influenza diretta l'uno sull'altro.

Nè la luce pare più del calore efficace a determinare una separazione dei fluidi magnetici. Vero è che alcuni osservatori, ed in ispezialtà il sig. Morichini, hanno creduto ravvisare un potere magnetizzante ne' raggi solari: ma io ho adoperato la massima cura in ripetere queste sperienze senza discoprire alcuna sensibile azione; nè più di me sono stati felici i sig. Reiss e Moser. (*Ann. di Chim. et de Phys.*, *t.* XLII, *p.* 304). (5)

Non è però lo stesso dell' elettricismo il quale opera sul magnetismo con una notabil potenza. Ed è la scoverta di quest' azione; che ha fatto nascere *l' elettro-magnetismo*, novella parte della scienza, che noi dobbiamo dopo l' elettricità studiare, e che ha in pochi anni immensi sviluppamenti ricevuti.

188. *Delle calamite artificiali e naturali.* — Noi abbiamo già detto che generalmente si chiamano calamite naturali le sostanze, che sono calamitate uscendo dal seno della terra, ed artificiali poi tutte quelle sostanze, nelle quali noi co' nostri processi giungiamo a fissare del magnetismo. Una calamita naturale fino al rosso scaldata, e dopo questo ricalamitata, sarebbe una vera calamita artificiale. Esponendo i metodi di calamitazione ed i mezzi di cangiare ed accrescer la forza coercitiva, noi abbiamo dato con ciò i metodi, secondo i quali le calamite deggiono esser composte; nè altro ci rimane ora che far conoscere come le si possono conservare, e riunirle insieme per aumentarne la potenza.

Gli aghi, le lamine e le sbarre di qualunque sorta son calamite di un solo pezzo, le quali, essendo state una volta calamitate a saturazione, molto bene conservano il lor magnetismo: nondimeno, potendo le lamine e le sbarre esser disposte in diverse maniere rispetto alla forza terrestre, bene può questa forza, in circostanze favorevoli, de-

terminare una ricomposizione parziale de'fluidi. Per esempio, una sbarra che fosse ne' climi nostri verticalmente tenuta col polo boreale in giù, sperimenterebbe una diminuzione magnetica, e, se in tal positura ricevesse alcuni urti o qualche colpi di martello, in poco tempo potrebbe venir ridotta ad una debilissima forza, ovvero ancora prendere poli contrari. E per impedire siffatte ricomposizioni si fa uso delle *armature*. Diconsi in generale *armature* alcuni pezzi di ferro dolce, che son posti a contatto con le calamite per mantenere l' attività loro con la decomposizione magnetica che soffrono. Per armar delle sbarre, si dispongano nelle loro scatole parallelamente, in modo che i poli contrari si corrispondano, ed alle due estremità si aggiungono trasversalmente due prismi quadrangolari di ferro dolce, che compiono il parallellogrammo. In tal guisa ciascuno di questi pezzi di ferro diventa una calamita, che reagisce sulle sbarre per fissarvi i fluidi decomposti.

Gli aghi che sono in attività non possono avere armatura, ma non ne hanno punto mestieri, conciosiacchè girano continuamente per obbedire alla forza che gli spinge; e questa forza stessa serve loro di armatura.

I *fasci magnetici* sono assembramenti di molte lamine, le cui armature richiedono assai più accuratezza. La figura 249 rappresenta un fascio costrutto secondo i metodi di Coulomb: esse compongonsi di 15 lamine rettangolari, disposte in tre strati, ciascuno tre lamine. Le lamine delle strato superiore e quelle dell'inferiore son 2 pollici e mezzo o 3 più corte di quelle dello strato medio; il che dà ad ogni estremo uno scorcio di 15 in 18 linee. Tutte siffatte lamine, le quali per altro sono simili nelle loro dimensioni, si aggiustano ne' pezzi di ferro *f*, che servono di armatura; un legame di rame *cc'* le mantiene per ogni capo e le preme in guisa, che tutto quanto il sistema stia immobile perfettamente. Questi grandi fasci sono destinati ad essere stabili quando si usano per calamitare; e su' principi medesimi si costruiscono de' fasci scorrevoli, che hanno minor lunghezza, e sol di 6, o 9 lamine sono composti.

La figura 246 rappresenta una calamita a *ferro di cavallo*: è un assembramento di molte lamine, le quali sono immediatamente soprapposte. Dopo averle temperate, si ritorna a cuocerle, e si drizzano in maniera, che possano applicarsi esattamente l' una sull' altra; due viti *v* e *v'* di ferro o di rame le ritengono in tal positura. Esse si calamitano spartitamente prima di unirle; epperò le si pongono a contatto da' due capi co' poli contrari di due possenti sbarre, e partendo dal mezzo o dal vertice della curvatura, fannosi col metodo del doppio tocco quante frizioni è mestieri. Un anello *nn'* serve a sospendere la calamita, ed un pezzo di ferro dolce *pp'*, che appellasi *il portante* o *il contatto*, rimane sempre stretto con i due poli contrari *a* e *b*. Generalmente il portante non ha che il terzo della doppiezza della calamita, ed è lievemente arrotondito nella sua superficie di contatto, di maniera che non tocca la calamita se non con una linea sola. Le calamite ben fatte possono per mezzo del loro portante sostenere infino a 10 e 20 volte il lor peso.

Le armature delle calamite naturali sono rappresentate nelle figure 247 e 248: le parti *l*, *l'* sono le *ali* dell' armatura; e le parti *p*, *p'* ne sono i *piedi*. Dassi alle ali la larghezza medesima della calamita, ed una doppiezza di circa una linea; le dimensioni de' piedi dipendono dalla forza della calamita, e sol dopo successivi esperimenti si può giugnere alla più convenevol forma e grandezza.

Ei si è sulle calamite naturali osservato un fenomeno del quale niuna verisimile spiegazione sussiste: ed è la *debolezza* che provano, quando sono *soppraccaricate*. Supponiamo che una calamita possa molto di leggieri portare 20 chilogrammi: se di questi 20 chilogrammi vien caricata, ed ogni dì vi si aggiunge un picciolo peso, si potrà gradatamente aumentare il carico fino a portarla a 30 ovvero forse ancora a 40 chilogrammi. Ma non appena distaccato il contatto, tratto giù dall' eccesso del peso, impossibile fia il farlo riprendere: la calamita non vuole *addentare* più, e bisogna restrignersi ad un carico minore de' 20 chilogrammi del punto d' incominciamento, perchè

possa la calamita portarlo: intanto con delle cautele e col tempo si perviene a *nutrirla* di nuovo, ed a renderle il suo primo vigore.

Quando invece di aghi o prismi, si calamitano lamine larghissime e poco doppie, sarà facile di variare la distribuzione magnetica in una infinità di maniere: prendendo per esempio delle piastre di latte d'acciaro di 8 in 10 pollici quadrati ed 1 linea o mezza linea doppie; e segnando sulla superficie loro qualsivogliano figure con una calamita assai forte; possono dette figure rendersi manifeste, spandendo con un setaccio fina limatura di ferro sulla faccia calamitata della piastra. Il Sig. Haldat ha pubblicato un importante memoria su tal soggetto (*Ann. de Chim. et Phis, t.* XLII, *p.* 33). Le figure divengono più risaltanti sopra piastre, e per farle scomparire e' basta riscaldare insino alla fusion dello stagno.

FINE DELLA PRIMA SEZIONE.

SECONDA SEZIONE

DELL' ELETTRICISMO.

CAPITOLO PRIMO.

Delle Azioni elettriche.

189. *Sonovi delle sostanze, che acquistano con lo strofinio la proprietà di attrarre i corpi leggieri.*— Facile cosa è di rendersi certo che le diverse sostanze, prese nello stato loro naturale, non hanno in nessun modo la proprietà di attrarre i piccioli frammenti di sfoglie di oro o di canuttiglia, nè la segatura di legno o del midollo di sambuco, nè i filitri delle piume, nè qualsisiano altri corpi leggieri: ma stropicciandosi con una stoffa di lana o di seta un tubo di vetro, un bastone di zolfo o di resina, un pezzo di ambra o di succino, questi diversi corpi acquistano incontanente una notevolissima proprietà: essi attirano a sè tutti i corpi leggieri, che lor si presentano, e questa attrazione è sì forte che le sottili foglie di metallo, per cagione d' esempio, vengono sollevate a meglio di un piede di distanza, e corrono a precipitarsi sulla superficie del corpo attraente (*fig. 281*). Del qual fenomeno è cagione quella che vien chiamata *elettricità*, dalla parola greca ἤλεκτρον, che vuol dire *ambra*, dappoichè la proprietà, di cui si tratta, fu in altri tempi scoverta da' filosofi greci in siffatta sostanza.

Per discernere con certezza maggiore i corpi, che addiventano elettrici con lo stropiccìo, si pongono in uso differenti apparecchi, che generalmente si chiamano *elettroscopi*, val dire strumenti atti a discoprire l'elettricismo.

Tra questi il più semplice è il *pendolo elettricità*, il qual si compone di una picciola palla di sambuco, sospesa all'estremo di un fil di seta, o di un esilissimo filo me-

tallico (*fig. 279*). Volendosi provare un corpo, si accosti alla palla, e se non potrà attirarsela di una sensibile quantità, si può star certo che non ha elettricismo, o meglio che solo un carico debolissimo nè potrà avere.

L'*ago elettrico* (*fig. 280*) è un altro elettroscopio alquanto più *sensibile* del pendolo: si compone di un filo di rame, terminato in due palle metalliche, *b* e *b'*, che per essere più leggere saranno incavate; nel mezzo della lunghezza del filo evvi un cappello di acciaro o di agata, che riposa sopra di un perno. Una debolissima azione elettrica basta di mettere in moto l'ago.

L'*elettroscopio di Coulomb* (*fig. 282*) è l'apparecchio più sensibile e più dilicato per indicar la presenza delle forze elettriche. Costruiscesi con un filo di bozzolo *f*, un ago di gomma lacca *gg'*, ed un piccolo cerchio di cannuttiglia *e*. Il filo è fissato ad un verricello *t*, che serve ad avvolgerlo o a svolgerlo per elevar l'ago od abbassarlo. L'ago è riparato dagli agitamenti dell'aria da una gabbia di vetro *vv'*; la quale ha una circonferenza divisa *d d'* ed un coperchio *cc'* forato da un'apertura *o*: ed è per la stessa che fannosi scendere lentamente i corpi elettrizzati, che deggiono attrarre l'estremità dell'ago per farlo girare, eccetto però se non sieno abbastanza potenti per influire di fuori attraverso alla doppiezza del vetro.

Per mezzo di siffatti apparecchi possono di leggieri sottoporsi alla prova tutt'i corpi, e vedere se tutti sono atti ad acquistare elettricismo per mezzo dello strofinio. Bella riesce l'esperienza per l'estrema varietà de' risultamenti, che offre: e trovasi in fatti che la gomma lacca e la resina, l'ambra, il zolfo ed il vetro, sono corpi eminentemente elettrici; che lo stesso è del diamante, del topazio, dello smeraldo e della maggior parte delle pietre preziose: che la terra cotta il legno ed il carbone raro danno alcuni segni d'attrazione; anche essendo per lungo tempo stropicciati ed in ripetute volte; che finalmente i metalli ed altri corpi eziandio, per qualsiasi cura si adoperi a ripetere o a svariare gli strofinamenti, non acquistano mai la minima apparenza attrattiva. Ecco dunque separati in due grandi classi tutti quanti i corpi della na-

tura: si dicono *idio-elettrici* tutti quelli che acquistano l'elettricismo per istrofinio; ed *analettrici* quelli che no.

190. *De' corpi conduttori e de' corpi non conduttori.* — Se i corpi analettrici, quando sono stroppicciati, non acquistano elettricismo, possono intanto acquistarne in un'altra maniera. Fu il sig. Gray, fisico inglese, che nel 1727 fece siffatta scoperta. Egli dopo avere elettrizzato un tubo di vetro aperto ne' due estremi, volle vedere se, chiudendo il tubo con un turaccio di sughero, otteneva gli stessi risultamenti: chè a quel tempo la scienza era ancora sì poco inoltrata che facevasi di tutto sperimento alla ventura; niente per regolarsi, nemmeno un sistema. Ora facendo il Gray l'esperienza, con grande stupore si accorse che il turacciolo stesso era divenuto elettrico, mentre mai non lo è quando si strofina direttamente. Un asta metallica confitta nel turacciolo diventa elettrica al pari di esso; un'asta più lunga del pari; e l'accurato osservatore non si stancava mai di ripetere sperienze tanto notevoli. Scorgendo che nel gabinetto suo non poteva aggiustare al turaccio aste molto lunghe pensa di ascendere al primo piano, e di sospendere al tubo elettrico un filo di metallo, che giunge al suolo: egli stroppicia il tubo ed uno degli amici suoi presenta de' leggieri corpi all'estremo del filo: cosa mirabile! i corpi leggieri sono fortemente attirati. Ripetesi l'esperienza al secondo ed al terzo piano e sempre con lo stesso successo. Adunque il metallo gode la proprietà di trasmettere l'elettricismo; e poich'esso trasmette all'istante, bisogna che l'elettricismo sia una specie di *fluido*, che passa dal vetro al metallo, ed in un attimo si spande in tutta la sua superficie. La qual proprietà si manifesta in tutti quanti i corpi analettrici, e si esprime dicendo che tutti siffatti corpi sono *conduttori* dell'elettricismo. Al contrario i corpi idio-elettrici sono *non conduttori*; cioè che l'elettricismo non si spande mai sulle superficie loro; dappoichè, stroppiciando un tubo di vetro in uno de' suoi estremi soltanto, l'altro estremo non dà veruno indizio di attrazione.

Questa verità fondamentale può dimostrarsi con la *macchina elettrica*, che ora considereremo solo come

un mezzo di avere elettricismo: facciasi con la stessa comunicare un lungo filo metallico, sostenuto da fili di *seta*, ovvero da tubi di *vetro*, ed, appena girata la macchina, agevolmente si scorge: 1° ch'è eletrizzato in tutta la sua estensione, qualunque ne sia la lunghezza, e qualsisiano i giri, che gli si fanno percorrere; 2° che se viene in qualche parte interrotto o dal vetro o dalla seta, non dimostra più elettricità alcuna al di là di siffatta interruzione; 3° e che se tocca *col suolo* non dà più segno elettrico, essendo il suolo troppo buon conduttore, perchè l'elettricismo vi si spanda, si sperda in largo su tutta la sua superficie, e di là si comunichi con l'intero edifizio od anche col globo terrestre.

Dal che risulta che l'aria non è corpo conduttore; che se lo fosse, come il metallo, l'elettricismo dallo strofinio sviluppato, dal corpo stropicciato passerebbe nell'aere ambiente, ed incontanente disperderebbesi in tutta la massa dell'atmosfera.

Buoni conduttori sono l'acqua ed il vapore aqueo: un corpo elettrizzato dà tutto il suo elettricismo all'acqua in cui viene immerso, od al vapore di acqua bollente, al quale si esponga. Epperò l'elettricismo, che lungamente si conserva nell'aria secca, celeremente si dissipa nell'atmosfera, essendo l'aria umida.

Ancora il corpo umano è buon conduttore: quando un uomo sta in piedi sopra un cattivo conduttore, come uno strato di resina, ei si elettrizza in tutta la sua persona, toccando con la mano corpi elettrizzati; e toccando il suolo niente più serba dell'elettricismo, che prende al corpo; esso lo trasmette al suolo dove si perde. Siffatta proprietà ci spiega il perchè i metalli non si elettrizzano, quando si tengono nella mano nuda, dovendo l'elettricismo loro disperdersi a misura che si sviluppa.

I peggiori conduttori diventano buonissimi, inumidendoli di qualche vapore acquoso: epperò i corpi voglionsi riscaldare per asciugarli prima di sottoporli allo strofinio: il menomo contatto in tal caso gli elettrizza, ed anche la mano asciutta gode tal proprietà: passando, per esempio, un tubo di vetro, un nastro di seta, ovvero una

striscia di carta fra diti, si dà loro una forza elettrica grande.

Adunque la *conduttibilità elettrica* de' diversi corpi dipende da una cagione costante, ch'è la natura della loro sostanza; ma essa dipende altresì da molte accidentali cagioni, delle quali è difficile misurar l'influenza. Sicchè invece di dire che i corpi sono o no conduttori; è più esatto il dire che sono buoni conduttori o cattivi; non avendoci nessun corpo, il qual sia non conduttore assoluto. I peggiori conduttori sono la gomma lacca, la seta, il vetro e le resine; diconsi eziandìo corpi *isolanti*, conciosiachè i corpi elettrizzati, che stan su di essi, sono in realtà isolati o separati dal suolo, e conservano lungamente l'elettricismo che hanno. I migliori conduttori conosciuti sono i metalli: noi vedremo che un filo metallico lungo parecchie leghe, si elettrizza in un attimo in tutta la sua estensione, quando un pò di elettricismo è sviluppato o deposto in un solo de' suoi punti. Fra i peggiori e migliori conduttori sta l'infinita varietà de' corpi della natura, tutti aventi gradi di conduttibilità differenti.

191. *Delle due specie di elettricismo*. — Un corpo elettrizzato respinge un corpo leggero, al quale abbia di presente comunicato del suo elettricismo. Di fatti, prendiamo un *pendolo isolato* (è quello della figura 279, il sostegno del quale è di vetro, ed il filo di sospensione di seta): appena accostiamo un tubo elettrizzato, la palla di sughero viene fortemente *attirata*, ma non appena tocca il tubo e gli si attacca per qualche istanti, n'è incontanente *respinta*, e respinta in lontananza, siccome veniva attirata dapprima. Questa repulsion della palla è prodotta dall'elettricismo, ch'essa ha preso dal tubo; dappoichè, toccandola con la mano per tornarla nello stato suo naturale, la è di nuovo *attirata*, e di nuovo *respinta* appena giunta a contatto; e ciò che ne fa una prova più evidente, è ch'essa allora attirasi i corpi naturali, o piuttosto, essendo più mobile, n'è attirata. La qual esperienza può farsi con l'elettroscopio di Coulomb, o con l' *ago isolato* (così dicesi l'ago della figura 280); quando esso vien collocato su una piastra di una sostanza non condut-

trice, od anche quando vien posto semplicemente sopra di un perno per mezzo di un guscio isolante, per esempio un guscio di vetro o di agata. Ancora di un altro modo può variarsi, con una sfoglia di oro ondeggiante nell'aria. Ma in tutt'i casi ogni corpo elettrico, qualunque si sia, sempre respinge il corpo leggero che ha di presente toccato.

Se si prendono due pendoli isolati (*fig. 284*), l'uno de' quali sia elettrizzato dal vetro e da esso respinto, l'altro elettrizzato dalla resina e dalla stessa parimente respinto, si osserverà un fenomeno notabile: che il vetro attira fortemente il pendolo stato elettrizzato dalla resina, e *viceversa* che la resina attira altresì molto fortemente il pendolo stato elettrizzato dal vetro; si può comprovare ancora che i pendoli si attirano l'un con l'altro, mentre i due pendoli toccati col corpo medesimo elettrico, si respingono scambievolmente (*fig. 283*). Adunque non sono identici l'elettricismo del vetro e quello della resina, dappoichè l'uno attira ciò, ch'è respinto dall'altra.

Questi due elettricismi differenti fra loro e ne' loro effetti, debbono avere altresì nomi differenti: il primo è detto *elettricismo vitreo*, ed *elettricismo resinoso* il secondo.

In tal modo noi siamo indotti a questa importante illazione: che havvi due elettricismi tali, che ciascuno respinge sè, ed attira l'altro.

Senza avere sperimentato altri corpi noi possiamo star certi fin da ora che l'elettricismo loro è o vitreo o resinoso; conciossiacchè, operando essi su di un pendolo elettrizzato, necessariamente bisogna che lo respingano o che l'attraggano: del resto ciò è quanto può di leggieri verificarsi su tutt'i corpi. Questa bella scoverta de' due elettricismi è stata fatta nel 1733 dal Dufay fisico francese. (*Mem. dell'Accademia delle Scienze*, 1733).

Alcuni fisici danno il nome di *elettricismo positivo* all'elettricismo vitreo, ed al resinoso quello di *elettricismo negativo*. Spesso c'interverrà d'impiegare queste due denominazioni, quantunque appartengano ad un sistema, dove cercasi di spiegare tutt'i fenomeni con un elettrici-

smo solo, il quale ora sarebbe *eccessivo* o *dippiù*, ed ora *difettivo* o *di meno*.

192. *De' fluidi elettrici e dello stato naturale dei corpi*. — Dalla celerità, onde l'elettricismo si spande in tutta l'estensione de' corpi conduttori si conchiude ch'è un fluido mobile in estremo grado; e dalla contrarietà, che havvi fra l'elettricità del vetro e della resina ch'esso è doppio, cioè che vi sono due fluidi elettrici, siccome ce ne ha due magnetici. Questi due fluidi *combinati* insieme dalla loro scambievole attrazione, ovvero *neutralizzati* l'uno dall' altro, costituiscono lo *stato naturale* de' corpi; ma o che sieno *decomposti* ovvero *separati* da una cagione qualunque, le contrarie azioni ch' esercitano di fuori non possono più compensarsi esattamente, ed il corpo, in cui questa *decomposizione* è seguita, è un corpo elettrizzato: esso è *vitreamente elettrizzato*, se il fluido vitreo predomina, e *resinosamente*, se il fluido resinoso. Quanto al modo di esistenza del fluido elettrico nell' interno de' corpi, tutt' i fenomeni sembrano indicare, che lo stesso è sparso negl' interstizi che dividono gli atomi ponderabili, e che ivi può essere di mano in mano decomposto e ricomposto, secondo le forze che lo sollecitano. Nondimeno ei ci ha sempre una differenza fondamentale tra il fluido elettrico ed il magnetico: questo è racchiuso negli elementi magnetici, dove può moversi, ma non può uscirne; mentre il fluido elettrico è libero in tutt' i corpi, può in tutt' i versi attraversare tutta quanta l'estensione della lor massa, e può uscirne ancora per ispandersi e cumularsi ne' corpi vicini. La qual verità evidentemente risulta da tutte l' esperienze da noi riferite, e la vedremo anche rifermata da tutta la totalità de' fenomeni elettrici.

Quando noi sviluppiamo dell'elettricismo resinoso o vitreo in un corpo ch' era dapprima nello stato naturale, adunque è mestieri che l'elettricismo contrario del pari trovisi sviluppato, ovvero che sia distrutto dalla cagione decomponente. Ora la distruzione di un agente naturale o di una forza non essendo meno impossibile della distruzione della materia medesima, noi possiamo star certi che mai l'una di queste elettricità non è sviluppata senza dell'altra.

*

Gli è del resto quanto può bene verificarsi con l'esperienza, stroppicciando l'uno con l'altro due dischi isolati da manichi di vetro (*fig. 285*): tenendoli dopo lo strofinìo stretti insieme, essi non danno altro segno elettrico, ma non appena disgiunti, è agevole riconoscere che l' uno possede l'elettricismo vitreo, il resinoso l'altro. Siffatti dischi possono esser di vetro, di resina, di legno o metallici; e volendosi dare all'esperienza maggior varietà, vi s'incollano delle pellicce, delle stoffe, ovvero carta ecc. dappoichè la specie di elettricismo non dipende che dalle superficie stropiccianti.

Possedendo un corpo naturale i due elettricismi in uguale proporzione, e' pare a prima vista che non ci abbia nessuna ragione perchè prenda o conservi l' uno dei fluidi in preferenza dell'altro; esso è del pari atto a divenire con lo strofinìo, ora resinoso ed ora vitreo: il vetro, per esempio, è vitreo, quando si stropiccia con la lana o con la seta, e se con pelle di gatto, di lontra e con parecchie altre pellicce è resinoso. Similmente molti corpi vi sono, che fanno acquistare alla resina l'elettricismo vitreo, ove molti altri le fanno acquistare il resinoso. Adunque a voler diffinire rigorosamente ciascuno de' fluidi bisogna aggiungere che il fluido vitreo è prodotto dal vetro stropicciato con la lana, ed il resinoso prodotto dalla resina stropicciata con pelle di gatto, lana o seta.

Immaginiamo che si formi una lista di tutt' i corpi, disponendoli con l' ordine *delle tendenze elettriche*, di modo che ciascuno sia vitreo co' seguenti e resinoso coi precedenti; allora si potrà ravvisare che delle circostanze impercettibili quasi faranno in tal lista mutare il sito de'corpi: per esempio un elevamento di temperatura lo predisporrà di acquistare l'elettricismo resinoso, e lo farà ribassare di molti gradi, mentre il raffreddamento lo farà risalire rendendolo più vitreo; una superficie più lisciata lo farà risalire del pari, mentre lo farà ribassare una superficie più scabra. Gli è quanto può di leggieri verificarsi su di un tubo di vetro ruvido. Il colore, la disposizione delle molecole o delle fibre, il verso in cui si fa lo stropicciamento, ed anche la pressione più o meno forte

del corpo stropicciante, potranno analoghi risultamenti produrre: un nastro per esempio di seta nera strofinato con un nastro bianco acquista sempre l' elettricismo resinoso; e nastri della pezza medesima, strofinati insieme in croce, acquistano quello ch'è immobile l'elettricismo vitreo ed il resinoso l'altro. Ancora vi sono delle sostanze, come il *disteno*, che in certe parti della superficie loro acquistano l'elettricismo vitreo, ed in certe altre il resinoso, senza che vi si possa riconoscere la minima differenza di temperatura o di aspetto. Siffatte sperienze si possono variare senza fine, con fettucce di lana o di seta, con strisce di carta, pezzi di pellicce e corpi conduttori, che possono rendersi benissimo isolati, facendoli sostenere da tubi di penne.

193. *Della comunicazione dell' elettricismo.* — L'elettricismo si comunica per contatto e in distanza, ma in ogni caso il suo modo di comunicazione dipende dalla conduttibilità de'corpi e dall'estensione della loro superficie.

Per contatto i corpi pessimi conduttori non acquistano nè perdono elettricismo, se non che nell'estensione delle superficie toccate; ma i conduttori buonissimi l'acquistano o lo perdono in tutta l'estensione della superficie loro; ed i corpi intermedi, per la conduttibilità loro, presentano risultamenti intermedi, ed acquistano o perdono l elettricismo d'intorno ai punti di contatto in una estensione tanto più grande, quanto migliori conduttori essi sono.

L'elettricismo, che si comunica *a distanza*, si spande ancora su'corpi in ragione della conduttibilità loro, ma esso offre nel suo passaggio il meraviglioso fenomeno della *scintilla elettrica*. Non è mestieri che un tubo sia elettrizzato molto energicamente, perchè si vegga alla distanza di più di un pollice brillare una viva scintilla, quando vi si accosta un'asta metallica od anche la giuntura di un dito; nel tempo stesso odesi un rumore secco, che sembra scoppiare insieme con la scintilla. Più in là noi vedremo la cagione del rumore e della luce. Quando il corpo elettrizzato è metallico, e presenta una gran superficie, come i conduttori della macchina, la scintilla parte dalla distanza di più di un piede, la sua luce prende uno splendore

abbagliante, ed il romore che l'accompagna rompe l'aria come un colpo di frusta.

Ottone da Guericke, inventore della macchina pneumatica, fu il primo a vedere la scintilla elettrica; e più appresso Dufay, del quale dianzi parlammo, eccitò un'ammirazione grande dimostrando che dal corpo di un uomo si può fare scoppiare delle scintille e delle lamine di fuoco, come da' conduttori della macchina.

Per farne la prova, deesi salire sopra di una schiacciata di resina molto secca, o su di un isolatore avente piedi di vetro; ed avere comunicazione con la macchina, o toccandola con la mano, ovvero con una asta o catena metallica: chi si trova in tal positura non riceve alcun urto, quando la macchina si gira per isviluppare elettricismo; solamente egli prova l'impressione di un lieve soffio sulla pelle, ed in ispezialtà alla faccia; i suoi capelli si rizzano e fanno scappare de' lampi di luce. Se allora gli si approssima la giuntura di un dito, o qualche corpo conduttore, se n' estraggono lunghe scintille; e si prova in sè medesimo una *commozione elettrica* che non apporta alcun danno. Se la scintilla parte alla distanza di un pollice, non si sente altro che una leggera puntura; ma se parte alla distanza di due o tre pollici, la sensazione giunge insino al gomito, e tutto l' avanbraccio si piega con un movimento involontario ed irresisistibile: la scintilla che parte da una distanza maggiore, come di sei od otto pollici, infino al petto si sente, e produce una commozione in tutto il corpo. Ed in tal caso l' uomo è fatto accorto che non è più cosa prudente il ricevere scintille più forti. Durante questo tempo la persona isolata, che comunica con la macchina, risente quasi le medesime scosse di chi gli si accosta per estraerne delle scintille.

Ma tra' corpi buoni conduttori, sia che la divisione dell' elettricismo facciasi per contatto, sia che in distanza, esso accade sempre in ragione delle superficie. Sicchè, perchè un corpo elettrizzato, dia tutto il suo elettricismo, bisogna mettersi in comunicazione con una superficie grandissima, per esempio co' muri od il pavimento della casa, dappoichè i muri essi stessi comunicano col *suolo* o

con la *superficie della terra*, che chiamasi *serbatoio comune*. In fatti una palla di rame, isolata all' estremo di un manico di vetro; sol debolissime scintille tira dai conduttori della macchina, mentre ne tira le più forti e scarica i conduttori compiutamente, quando comunica per mezzo di una catena conduttrice col suolo (*fig. 310*).

Dal perchè non restiamo bruciati dalla luce elettrica, non ne segue che la sia una luce senza calore: chè noi vedremo di fatto con le sperienze seguenti, l' elettricismo operare in moltissimi casi come il fuoco, e divenire sovente un agente chimico de' più possenti.

Una lampada allora allora spenta, tirando una scintilla per traverso al moccolo ancora caldo, in un attimo si raccende.

La scintilla può infiammare l' etere ed eziandìo l' alcool: siffatti liquidi sono in un picciolo vaso metallico, che accostasi ad un corpo elettrizzato, in modo che la scintilla corre sulla superficie del liquido: ed il corpo elettrizzato può essere una persona isolata comunicante con la macchina.

La pistola del Volta rappresentata (*fig. 286*): è un piccolo vaso metallico che si chiude con un turaccio di sughero; un filo di rame terminato in due picciole palle b, b' passa di dentro in fuora senza toccar le pareti; ed a tal effetto s' incolla con della cera in un tubo di vetro tt'; la scintilla ch' entra per questo filo dee passare dalla palla b' all' opposta parete, attraversando il gas che riempie la pistola. Se questo gas è ditonante, un miscuglio per esempio d' idrogeno e di aria, o meglio d' idrogeno e ossigeno nelle proporzioni che formano l' acqua, la scintilla determina l' azione chimica, lo scoppio succede, il turacciolo è spinto lungi, e si è formata l' acqua.

CAPITOLO II.

Dell' elettricismo per influenza.

194. *Un corpo elettrizzato decompone in distanza l' elettricità naturali di tutt' i corpi conduttori.*— Noi abbiamo più innanzi veduto che ognuno de' fluidi elettrici attira il fluido di nomi contrari , e respinge quello del nome medesimo : siffatte attrazioni e ripulsioni non hanno luogo soltanto su' fluidi liberi e già decomposti ; ma si esercitano ancora su' fluidi combinati ; e di qui risulta che un corpo conduttore può , ***senza nulla perdere e senza nulla ricevere***, essere costituito in uno stato elettrico particolare, che nasce dalla cagione agente a cui è sottoposto, e che finisce con esso. E siffatto elettricismo prodotto in distanza dicesi *elettricismo per influenza.*

Per esempio , un anello di rame *nn'* (*fig.* 287) avente due fili metallici finissimi e due palle di sughero, e sostenuto da un tubo o da un uncino di vetro; si presenta ad un corpo *r* , elettrizzato resinosamente , ed in distanza di più di un piede , veggonsi le due palle distaccarsi l'una dall'altra per prendere la posizione *bb'* ; ad una distanza più piccola la divergenza è maggiore, e senza che la scintilla scattasse infra l'anello ed il corpo elettrizzato. Adunque le palle *bb'* sono caricate di un elettricismo medesimo , ed è anche agevole a scorgere che questo elettricismo è resinoso , come quello del corpo *r* , che opera sull' anello e su di esse. Intanto non se ne dovrebbe conchiudere che vi abbia una comunicazione elettrica attraverso dell' aria : dappoichè allontanando o con lentezza o celeremente l' anello la divergenza decresce, siccome la distanza si aumenta; e diviene del tutto nulla, quando la distanza è assai grande; il che non seguirebbe, se le palle o l' anello avessero ricevuto dal corpo *r* un qualsiasi elettricismo. Adunque tutto il fenomeno succede nelle palle e nell' anello e ne' fili di metallo, che li congiungono. Questo si-

stema de' corpi conduttori ha i suoi fluidi naturali decomposti dall' influenza del corpo elettrizzato: tutto il fluido vitreo risultante da tale decomposizione si cumula nell'anello, dov'è richiamato dall' attrazione di *r*, e tutto il fluido resinoso è respinto dalla ripulsione nelle palle. In tal guisa questi due fluidi sono semplicemente *rimossi* nel sistema conduttore; essi in virtù della loro scambievole attrazione si ricongiungono, e, non appena la distanza del corpo elettrizzato è grande abbastanza per mantenerli divisi, si ricompongono.

Perchè non resti alcun dubbio di questa fondamental verità, basterà andare a toccar l' anello con un picciolo *piano di prova* (1), che si ritrae subito, e di mostrare che esso piano di prova effettivamente è caricato di elettricità vitrea, mentre le palle divergono per l' elettricità resinosa. Alcune volte si dice che un corpo è *nella sfera di attività*, o *fuori la sfera di attività* di un corpo elettrizzato, secondo che ne risente o pur no l' influenza: ma bisogna por mente che siffatte espressioni, delle quali si può usare senza inconveniente, sono assai meno relative al corpo elettrizzato medesimo, che al corpo sottoposto alla sua influenza: strettamente la sfera di attività di un corpo elettrizzato sino all' infinito si estende, e la lontananza, fino alla quale noi possiamo renderne sensibili gli effetti, dipende dalla mobilità degli apparecchi che noi usiamo.

L' esperienza può anche nel seguente modo disporsi: *cc'* (*fig. 288*) è un *eccitatore* (con tal nome si chiama un' asta di ottone terminata come rappresenta la figura; la quale per lo più può accorgiarsi ed allungarsi come un cannocchiale); si sospende in ciascuna delle sue estremità un doppio pendolo di filo di lino o metallico, e si colloca sull' isolatore *s*; allora approssimando un corpo elettrizzato *r* si scorgerà nelle palle una divergenza. Se il corpo è

(1) *Il piano di prova* è un piccolo disco di lamina o di carta dorata, del diametro di alcune linee, ch' è incollato nel suo orlo o nel suo centro ad un lungo ago di gomma lacca.

resinosamente elettrizzato, come la figura mostra, l'elettricismo vitreo si conduce e si cumula nella parte più vicina all'eccitatore, ed il resinoso nell'opposito estremo è respinto; gli è quanto si può verificare accostando un tubo di vetro elettrizzato od un bastone di resina, ovvero prendendo dell'elettricismo col piano di prova, per conoscerne l'indole. Il contrario accadrebbe se il corpo *r* fosse elrttrizzato vitreamente.

Un corpo elettrizzato per influenza opera a sua volta per elettrizzare i corpi vicini, che si trovano nella sua sfera di attività, e queste successive azioni possono propagarsi a grandi distanze. Basta gittar lo sguardo sulla *figura 290* per vedere la disposizione che può darsi agli apparecchi in cotali sperienze.

m è un conduttore della macchina,

c un primo cilindro isolato,

c' un secondo cilindro simile,

b una palla di ottone,

e *b'* una picciola palla di sughero.

La divergenza delle palle accenna la presenza dell' elettricismo, ed i segni + e — ne di notano la natura.

Quando un corpo conduttore è già carico di elettricismo, esso non ne risente meno l' influenza di un altro corpo elettrizzato: un' esperienza sola basta a mostrare quanti notevoli fenomeni possono risultare da siffatto principio. Il piccolo anello a pendolo, quello della prima delle precedenti sperienze, è elettrizzato resinosamente: gli si presenti un corpo resinosamente elettrizzato al par di esso, e dunque la divergenza delle palle cresce, il suo elettricismo resinoso è respinto e rincacciato nelle palle dall'elettricismo resinoso, che opera su di esso per influenza, o, se così si vuole, le loro naturali elettricità sono divise: la resinosa è rincacciata nelle palle, dove si aggiunge alla resinosa che quivi già si ritrova; mentreche la vitrea è richiamata nell' anello, dove neutralizza una egual porzione di resinosa, ricomponendosi con la stessa. La prima carica dell'anello e quella del corpo che gli si presenta, possono esser tali che, durante l'azione per influenza, l'anello si trova ancora resinosamente elettrizzato, o che

riacquisti lo stato suo naturale, o che si mostri anche con una carica di elettricismo vitreo. Gli è quanto può verificarsi col piano di prova.

Questi fenomeni sono più manifesti quando si dà all'anello una carica primitiva di elettricismo vitreo: allora sotto l'influenza de' corpi resinosi, che gradatamente si appsossimano, le palle si ravvicinano a poco a poco, ritornano a contatto e nuovamente divergono: il che dimostra in un modo evidente che il loro elettricismo vitreo è stato a poco a poco richiamato nell'anello, che colà è giunto interamente, e che infine per una minore distanza del corpo agente, una novella decomposizione si è fatta, che rincaccia il fluido resinoso nelle palle, e dà loro una divergenza novella.

195. *I corpi elettrizzati per influenza ricadono nello stato loro primitivo, appena l'influenza finisce.* — Poichè la decomposizione per influenza è istantanea ne' corpi conduttori, la ricomposizione debb' essere istantanea, appena distrutta la causa decomponente.

Ora si può generalmente distruggerla in due maniere: sia gradatamente tirando piccole scintille con un corpo isolato dai corpi elettrizzati, o accrescendo la distanza del corpo conduttore che riceve la sua influenza: sia subitamente tirando una scintilla totale dal corpo elettrizzato, che lo scarichi compiutamente quando esso stesso è conduttore.

Nel primo caso la ricomposizione è graduata siccome la diminuzione della forza, e ce ne fa accorti la divergenza delle palle, che sempreppiù scema. Nel secondo caso i due elettricismi separati dall'influenza si ricongiungono in virtù della loro mutua attrazione, e si ricompongono totalmente, siccome dal ravvicinamento delle palle si riconosce, ch'è improvviso e compiuto.

In tali fenomeni nè l'uno nè l'altro fluido esce dalla massa, che riceve l'influenza elettrica, ma essi provano tuttidue un moto di trasferimento nell'estensione di questa massa, sia quando si separano, sia quando si ricongiungono; e questi rapidi movimenti dell'elettricismo producono nelle molecole ponderabili delle scosse meccaniche o degli effetti chimici notabilissimi.

Per esempio una ranocchia preparata e disposta, come nella figura 289, sembra non provare nessun effetto, quando si gira lentamente la macchina, che carica il conduttore *c* di elettricismo vitreo: intanto, il suo elettricismo naturale è decomposto dall'influenza, il resinoso viene richiamato in *r*; mentre il vitreo è respinto nel suolo dal filo *s*, ed appena estratta una scintilla dal conduttore, la subitanea ricomposizione degli elettricismi della ranocchia imprime a tutto il suo corpo una specie di convulsione che la fa saltare, come se con un moto volontario si slanciasse; prova lampante che le molecole de' corpi, nel ritorno allo stato naturale, sono agitate da' fluidi che si affrettano per riunirsi. Tal sorta di commozioni vien detta *l' urto di ritorno*. L' esperienza sarebbe tentata indarno su di una ranocchia uccisa da cinque o sei ore; ma riesce a maraviglia con una ranocchia allora allora tagliata e scorticata, ed anche meglio con una ranocchia vivente tal quale com' esce dall' acqua.

In presenza di una macchina potente un uomo, che comunica col suolo, prova delle scosse consimili, e se ne può far la prova con un conduttore di una gran superficie: due persone poste ai due estremi di tal conduttore non provano, mentre si carica, effetti sensibili; ma accostandosi l' una di esse molto dappresso per estrarre delle scintille, l' altra sul momento prova tutta la violenza dell' urto di ritorno, senza che appaia veruna traccia di elettricismo o di luce fra la stessa ed il conduttore.

Noi vedremo, studiando gli effetti del fulmine, che una nube procellosa può operare in un modo analogo, e fulminare nel tempo stesso con *l' urto diretto* e con *l' urto di ritorno*.

Allorchè il corpo conduttore, che riceve l' influenza elettrica, non è in communicazione diretta col suolo, può farsi ch' esso perda a poco a poco quello de' due elettricismi, ch' è respinto, e che dipoi, la cagione decomponente essendo di botto distrutta, esso perda in un momento con una sola scintilla, l' altro elettricismo, ch' è cumulato sulla sua superficie. E ciò si verifica con la pistola del Volta disposta dinanzi ai conduttori della macchina.

196. *Toccando i corpi conduttori, quando sono sottomessi all' influenza, può tirarsene l' uno o l' altro elettricismo: ma di un elettricismo solo si può caricarli, mettendoli in comunicazione col suolo.* — Ripigliamo uno de' cilindri isolati della figura 290, e supponiamo che le sue elettricità naturali siano decomposte dall' influenza della macchina: essendo il suo fluido resinoso richiamato in *r*, il suo fluido vitreo respinto in *v*, e segnando la *linea neutra n n'* sulla sua superficie i punti, che dividono i due fluidi opposti. In tale stato se si va a toccarlo con un piano di prova, si prenderà elettricismo resinoso nella regione *nr*, elettricismo vitreo nella regione *nv*, e niuna sensibile elettricità sulla linea neutra *nn'*. Ma se invece di toccare il cilindro con un piano di prova picciolissimo, lo si mette in comunicazione col suolo, si otterranno risultamenti del tutto diversi: se comunica col suolo per mezzo di un punto della regione *nv*, tutto il fluido vitreo scappa via, ed il resinoso rimane interamente mantenutovi dall'attrazione del fluido vitreo della macchina; se comunica col suolo per mezzo di un punto della regione *nr*, gli è *pure il fluido vitreo* che se ne cola, ed il fluido resinoso rimane.

Questo notabile fenomeno, facilissimo a verificare, è altresì facilissimo ad ispiegare: dappoichè il filo metallico, che stabilisce la comunicazione col suolo, esso medesimo prova la decomposizione per influenza: il suo fluido vitreo è respinto nel suolo, mentre il resinoso è attirato, passa sul cilindro, e neutralizza spandendovi tutto il vitreo che ci si trova; il risultamento è lo stesso che se il cilindro fosse stato in comunicazione col suolo prima di provar l'influenza de' conduttori della macchina.

Ora, se toccando la regione *n r* col piano di prova ch'è picciolissimo, se ne trae dell'elettricità resinosa, e se toccandola col suolo, ch'è grandissimo, se ne trae della vitrea, è mestieri che ci abbia de' corpi isolati, di una determinata dimensione, che non potrebbero trarne nè l'uno nè l'altro de' fluidi.

Siffatta conseguenza è importante, nè per altro noi qui la presentiamo, se non per indicare precedentemente

che nella decomposizione per influenza, il luogo e la forma della linea neutra dipendono da un gran numero di condizioni, e che nel contatto de' corpi elettrizzati, accadono de' fenomeni moltissimo complessi.

197. *Elettroscopi.* — Noi abbiamo già fatto noto il pendolo elettrico, l' ago elettrico e l' elettroscopio di Coulomb; ma da' fenomeni dell' elettricismo per influenza, vennero indotti a costruire di altri elettroscopi, che meglio conservano l' elettricismo che loro si dà, e che sono più acconci a dare prossimamente un' idea delle forze elettriche che li sollecitano. Tutti questi apparecchi sono essenzialmente composti di un *vaso di vetro* di *un conduttore fisso* e di un *conduttore mobile.*

Il *vaso di vetro* ha la forma di una campana o di una boccetta: stretto è l' orificio superiore, ed il fondo può esser di vetro (*fig.* 292) ma più spesso è metallico (*fig.* 291), ed allora esso ha due palle di ottone, ovvero comunica con due picciole lamine di stagno *e e'*, che sono incollate verticalmente sulle interne pareti della campana.

Il *conduttore fisso* è una picciola lamina metallica, la quale termina in su con una palla (*fig.* 291) o in un anello (*fig.* 292); essa è incollata con gomma lacca nel collo del vaso, ed anche per maggiore cautela, l' estrema superficie del vetro è fino ad una distanza *v v'* inverniciata.

Il *conduttore mobile* sta sospeso all' estremità inferiore del conduttore fisso, e dalla sua natura deriva il nome dell' elettroscopio: nell' *elettroscopio a paglia*, esso è composto di due paglie leggere, che si sospendono al conduttore fisso con de' piccoli anelli di filo metallico sottilissimo, nell' *elettroscopio a lamine di oro* è composto di due lamine di oro, che s'incollano, semplicemente combaciandole, sull' estremità schiacciata del conduttore fisso (*fig.* 292); nell' *elettroscopio a palle di sughero* si compone di due esilissimi fili metallici, che si appiccano come le paglie, ed hanno nel loro estremo inferiore delle palline di sughero *bb'* (*fig.* 291). Questi conduttori mobili nella maggiore divergenza loro vanno a toccare le palle o le lamine di stagno per iscaricarsi del loro elettricismo;

che se andassero a toccare la superficie del vetro, vi resterebbero attaccati, e gli comunicherebbero un elettricismo, che potrebbe per lunghissimo tempo turbare i risultamenti.

L'esperienze, delle quali noi abbiamo fatto precedentemente parola, bastano ad indicare l'uso degli elettroscopi.

Quando si vorrà riconoscere semplicemente la presenza dell'elettricismo in un corpo, bisognerà accostarlo gradatamente al conduttore fisso dell'elettroscopio, ed osservare la divergenza sempre crescente de' conduttori mobili. Di due corpi della medesima forma, posti nella distanza medesima, quello, che produrrà la minor divergenza; avrà manifestamente la minor forza elettrica ma le intensità non saranno proporzionali agli angoli di slancio, ma esse seguono una legge molto più complicata.

Quando si vorrà conoscere l'indole dell'elettricismo che possede un corpo, bisognerà dare anticipatamente all'elettroscopio un elettricismo cognito, il che si fa nel modo seguente. Si accosta un corpo elettrico e nel tempo medesimo si tocca col dito il bottone dell'elettroscopio: il fluido *respinto* passa nel suolo, e ritirando il dito *subito*, e *dipoi* il corpo elettrizzato, l'elettroscopio rimane carico del fluido *attirato*, cioè del fluido contrario a quello del corpo che gli si presenta. In tale stato qualunque corpo gli si accosta, e che accresce la sua divergenza, è certamente carico della medesima elettricità dell'elettroscopio, ma punto non accade l'inversa: non ogni corpo che scema la divergenza è necessariamente carico di un'elettricismo contrario a quello dell'elettroscopio; dappoichè i corpi conduttori considerati nello stato loro naturale, deggiono essi medesimi produr questo effetto sui conduttori mobili, per cagione della decomposizione per influenza, ch'essi provano.

Adunque l'accrescimento di divergenza è una prova decisiva: mentre la diminuzione è una prova incerta, eccetto però che la non sia moltissimo grande, e che il corpo, che la produce, essendo di vantaggio accostato, non sia atto di determinare una divergenza contraria dopo aver menato fino al contatto i conduttori mobili dell'elettroscopio.

Quando l'aria è umida, l'elettricismo prontamente si sperde, ed in tal caso fora impossibile il fare degli esperimenti paragonabili con gli elettroscopi, se non si pone di disseccare l'aria ch'essi contengono con qualche frammenti di muriato di calce; e giova pure il disseccare l'aria, che gli circonda, inviluppandoli d'una scatola in fondo della quale si pongano de' corpi atti ad assorbire l'umidità.

198. *Elettroforo.* — Questo istrumento, immaginato dal Volta è fondato ancora su' principi dell'elettricismo per influenza: esso componsi di una *schiacciata* di resina *g* (*fig. 293*), di un *piatto p*, al qual è adattato un manico isolante *m*. La resina è colata in un getto di legno e metallico ed importa che la sua superficie superiore sia notevolmente piana; il piatto è di ottone con un orlo arrotondito o semplicemente di legno rivestito di stagno; il suo diametro è minore di uno o due pollici di quello della schiacciata. Dopo avere elettrizzato tutta la superficie della resina, battendola con una pelle di gatto, si colloca su di esso il piatto pel suo manico isolante, e col dito se n'estrae una scintilla: ed il suo elettricismo resinoso che se ne cola nel suolo. In seguito, rilevando il piatto, si troverà fortemente carico di elettricismo vitreo. L'esperienza si può ripetere parecchie centinaia di volte di seguito, senza che faccia mestieri di dare alla schiacciata una carica novella con la pelle di gatto. L'elettricismo della resina, operando per influenza sugli elettricismi naturali del piatto, per traverso del sottile strato di aria che nel separa, vi produce una grande decomposizione, e l'elettricismo vitreo che attira non può venire a neutralizzarla, perchè non può accumularsi sopra di un punto per vincere la resistenza dell'aria. L'elettroforo vale da sè solo una macchina elettrica.

199. *Macchine elettriche.* — Le macchine elettriche sono composte di un corpo stropicciante, di un corpo stropicciato, e di un conduttore isolato.

Il corpo stropicciante è un cuscino elastico imbottito di crini; la sua faccia stropicciante è una pelle spalmata di amalgama o di *oro musivo* (deuto-solfuro di stagno).

Il corpo stropicciato è un cilindro o un piatto di vetro.

Il conduttore isolato è in generale un sistema di cilindri cavi di ottone, terminati in superficie sferiche o arrotondite, e sostenuti da colonne di cristallo verniciate di gomma lacca.

Noi accenneremo le diverse disposizioni più in uso.

Macchina ordinaria (*fig. 307*). — Il piatto di vetro *a*, il cui diametro può variare da 20 a 60 pollici, è forato nel centro suo da un pertugio, nel quale passa l'asse a manovella *b*. Le madreviti *c* servono a fissare fortissimamente il piatto sopra il suo asse. I sostegni *d* (*fig. 308*) sono disposti per mantenere nel tempo stesso il piatto e le due paia di cuscini *e* ed *e'*, che lo stropicciano da ciascun lato, dalla circonferenza insino al terzo od alla metà del raggio (*fig. 307*). Il conduttore *f g f'* (*la fig. medesima*), isolato sopra le colonne *h*, termina in due *mascelle i*, che abbracciano l'orlo del piatto ai due estremi del suo diametro orizzontale.

Per mettere la macchina in attività, si asciugano le colonne *h* ed il piatto *a* con degli scaldini, ovvero stropicciandoli con carta senza colla, asciutta e caldissima; i cuscini si asciugano al fuoco, si fregano l'uno con l'altro dopo averli verniciati di oro musivo, si rimettono al sito, e vi si adattano le armature di taffetà *k* (*fig. 309*); quindi si fanno comunicare li cuscini col suolo per mezzo di una catena, nè si dee fare altro che girare la manovella *m*, affinchè i conduttori si carichino di elettricismo.

In effetto l'elettricismo vitreo, che lo strofinio disviluppa col piatto, opera per decomporre per influenza l'elettricità naturali del conduttore, e soprattutto quello delle mascelle *i*; esso respinge il vitreo, che si spande su tutta la superficie de' conduttori, ed attira il resinoso, che passa dalle mascelle al piatto per rimetterlo in istato naturale, od almeno per neutralizzare in un modo più o meno compiuto l'elettricismo vitreo, ond'è caricato.

L'elettricismo resinoso del cuscino se ne scorre nel suolo, e fa mestieri che liberamente di là si ne scorra, dappoichè, se i cuscini fossero caricati di elettricità resinosa, svilupperebbero meno elettricismo vitreo sopra il piatto.

Alcune volte si adoperano de' *conduttori secondari* che sono de' cilindri di rame o di ferro bianco sospesi alla volta con delle corde di seta: mettendo siffatti conduttori in comunicazione con que' della macchina, tutto quanto il sistema si caricherà di elettricismo, ed allora si possono estrarre scintille più forti.

Macchina di Van-Marum. — Questa macchina rappresentata nella figura 310 differisce dalla precedente in quanto ch'essa è disposta per raccorre ad arbitrio l'elettricismo resinoso od il vitreo, val dire l'elettricismo dei cuscini o quello del piatto. Nel qual caso le due paia di cuscini sono disposte su di un diametro orizzontale, e sostenute da' mezzi globi di ottone z e z'; e sonvi due archi mobili x, x' ed y, y', i quali deggiono sempre stare in piani perpendicolari. Quando l'arco x, x' è verticale, y, y' è orizzontale; esso comunica co' cuscini e fa passsare l'elettricismo loro nel suolo, mentre l'arco x, x' ed il globo g si caricano di elettricismo vitreo: al contrario quando x, x' è orizzontale y, y' è verticale; esso comunica col piatto e nello stato naturale il rimette; mentre x, x' raccoglie l'elettricismo de' cuscini, che allora si spande sul globo g e su' mezzi globi z, z'.

Macchina di Nairne. — Questa macchina, rappresentata nella figura 311, è disposta ancora per dare le due elettricità, ma essa le dà nel tempo medesimo sui due conduttori diversi v ed r: qui il corpo stropicciato è un gran cilindro di vetro a, mobile intorno di un asse orizzontale b, e stropicciato nel verso della sua lunghezza da un solo cuscino e; può adattarvisi anche un'armatura, cioè un pezzo di taffetà ingommato, che impedisce il contatto dell'aria, sempre più o meno umida, del luogo dove si trova la macchina.

200. *Esperimenti diversi.* — Dinanzi dal conduttore c della macchina havvi una campana t comunicante col suolo ed un pendolo isolato (*fig.* 294); il conduttore vitreamente elettrizzato attira il pendolo subito, lo carica di elettricismo vitreo e poi lo respinge: la campana al contrario, essendo per l'influenza del conduttore elettrizzata resinosamente nella parte sua anteriore, atti-

ra il pendolo che il conduttore respinge, lo sgrava di elettricismo vitreo per dargli il resinoso, e lo respinge verso il conduttore, che a sua volta lo attrae. Di quì le rapide oscillazioni del pendolo, che continuano tanto lungamente, quanto si gira la macchina per elettrizzare il conduttore.

In luogo della campana può prendersi una palla metallica, ed in luogo del pendolo un *aragno* fatto di sughero alquanto nella sua superficie bruciato e sospeso ad un filo di seta; per cagione dell' imperfetta conduttibilità del sughero, le *zampe* dell'*aragno* sembrano per qualche istanti attaccarsi ai corpi elettrici, ch'essi toccano (*fig.* 295).

Una sfoglia di oro battuto posta su di un picciol piatto metallico comunicante col suolo, ed alquanti pollici di sotto al conduttore della macchina, è alternativamente attirata e respinta, ed esegue in tal modo una serie di oscillazioni analoghe a quelle del pendolo: in cosifatta maniera si fa la danza de' pupi collocando piccioli fantocci di sughero svariatamente ornati fra i due piatti di metallo, cinque o sei pollici distanti, l' uno de' quali comunica col suolo e col conduttore della macchina l'altro.

Queste sperienze, le quali non sembrano altro che giochetti da bambini, hanno suggerita al Volta una ingegnosa idea per esplicare il fenomeno della grandine. Noi faremo ritorno su tal subbietto nella Meteorologia; ma possiamo fin da ora accennare l' esperimento, onde il Volta imita i vari movimenti, che le grandini eseguono fra le nubi, prima di cadere in massa sopra la terra: *c* (*fig.* 296) è una gran campana di vetro il cui fondo è metallico ed ha comunicazione col suolo; il piatto superiore *p* comunica con la macchina, e non appena l' elettricismo si fa sentire, le palle di sughero, che stavano tranquille sul fondo, si elevano, lo toccano, ricadono e si rialzano di nuovo; mentr' esse fanno questi movimenti alternativi, le si urtano in mille guise, e danno un' immagine di quella specie di strepito o romorìo, che pochi momenti prima della caduta della grandine, nelle nubi si sente.

———

CAPITOLO III.

Delle forze elettriche.

201. *Le attrazioni e ripulsioni elettriche sono in ragion composta delle quantità di fluido, ed in ragione inversa del quadrato delle distanze.* — Scoverta di Coulomb è questa legge fondamentale delle azioni elettriche, al pari di quella delle azioni magnetiche, e da mezzi analoghi procedono, cioè: con la bilancia di torsione e con le oscillazioni di un piccolo ago egli è giunto a dimostrarne la verità. La bilancia elettrica poco dalla magnetica differisce: nella costruzione di quest' ultima vuolsi accuratamente evitare l' uso de' corpi ferruginosi: nella costruzione di quella si dee con la cura medesima evitare l'uso dei corpi conduttori. Si costruisce nel modo che segue: su d'una tavola di legno secchissimo si fissano incastrandoli quattro grandi lastre quadrate con 30 in 40 pollici di lato (*fig.297*); i loro orli verticali son lavorati in guisa che si congiungono esattissimamente, e s' incollano insieme per tema che l'aria non vi possa trovare accesso. Una quinta lastra alquanto più grande si aggiusta sulle prime per chiudere l' apparecchio con esattezza; essa è forata di due aperture circolari, l' una nel centro, sulla quale s' innalza un tubo di vetro *t*, alto 12 a 15 pollici e del diametro di 2 o 3; e l'altra nel lato, onde s'introducono i corpi elettrizzati. Al di sopra del tubo di vetro ci ha un micrometro simile a quello della bilancia magnetica; il filo di rame o di argento, ch'è fissato nel verricello di tal micrometro ha nella parte sua inferiore un ago leggero di gomma lacca, benissimo equilibrato, e terminato in una picciola palla di sughero o in un picciol disco di foglia metallica dorata del diametro di 6 ad 8 linee. Nel contorno della gabbia e verso il mezzo dell'altezza sua evvi una striscia di carta ch'è graduata; il filo di torsione dee sempre, come abbiamo già

veduto, passare pel centro di tali divisioni. In fondo alla bilancia si mette del muriato di calce in una capsola per assorbire l'umidità dell'aria.

Per determinare con questo apparecchio la legge delle ripulsioni elettriche; fin dapprima si dà elettricismo alla palla dell'ago sospeso; e quindi all'estremità di un tubo di vetro o di un filo di seta verniciato di gomma lacca, evvi un'altra palla elettrizzata della stessa maniera, che si fa calare nella bilancia con la precauzione di mantenerla molto d'appresso sulla circonferenza, che la palla mobile può descrivere nel suo moto di rivolgimento. La ripulsione segue fra le due palle, come fra due poli magnetici di uno stesso nome, e da ultimo l'esperimento si compie nello stesso modo. Dando elettricità contrarie alle palle, si determina del pari la legge delle attrazioni elettriche, come quella delle attrazioni magnetiche.

Per dimostrare che le attrazioni e le ripulsioni son in ragion composta delle quantità di elettricismo, bisogna fondarsi su questo principio chiaro di per sè stesso: che due sfere conduttrici e del medesimo raggio, le quali sono poste a contatto, si dividono egualmente l'elettricità che hanno. Sicchè dopo avere osservato la forza di torsione, che fa equilibrio all'azione attraente o repellente delle due palle ad una distanza nota, se vassi a toccare l'una di esse con una terza palla isolata, che siale precisamente simile, le si torrà la metà dell'elettricismo che possiede; ed allora si scorge che nella distanza medesima la forza di torsione trovasi ridotta a metà. Togliendo la seconda fiata con lo stesso processo la metà del fluido, che ancora sull'una o l'altra delle due palle rimane, la forza ridurrebbesi ancora alla metà del suo valore; e se si togliesse nel tempo medesimo la metà del fluido, che si trova su ciascuna delle palle, la forza verrebbe ridotta al quarto di ciò ch'era.

Coulomb ha comprovato altresì le leggi medesime e con la medesima precisione, facendo oscillare dinanzi da un globo elettrizzato un piccolo ago di gomma lacca sospeso ad un filo di seta ed avente nell'uno de' suoi estremi un disco di foglia metallica destinato a ricevere o l'un fluido o l'altro. Siffatto apparecchio diventa del tutto simile a

quello da noi descritto pel magnetismo: se non che la reazione elettrica, che in questo caso si esercita fra il globo ed il disco, è la sola cagione delle oscillazioni; dal che procede che, in cariche ovvero in distanze diverse, le intensità delle forze sono tra loro come i quadrati de' numeri di oscillazioni, che l' ago compie nel tempo medesimo.

202. *Della perdita dell' elettricismo per l' aria e pei sostegni.* — L' elettricismo de' corpi sparisce col tempo: si dissipa nell' aria, o se ne scorre nel suolo; è un fatto comprovato da tutti gli esperimenti elettrici. Non potendo impedire siffatta perdita noi ci dobbiamo sforzare di renderla più lenta più regolare e più agevole a misurare: senza di ciò ogni paragone tra le forze diventerebbe impossibile, dappoich' esse sarebbero variabili ad ogni istante, e cangerebbero senza regola, seguendo incognite leggi.

La perdita per via de' sostegni isolanti segue in parte per traverso alla loro sostanza, ed in parte pel sottile strato di umidità, onde sono spessissimo rivestiti. Questa ultima cagione è moltissimo influente pel vetro e per la seta, che assorbono il vapore aqueo con avidità grande. E però si rende sempre necessario di verniciare la superficie di tali corpi d' un strato di gomma lacca, o nella stessa sciolta immergendoli, ovvero covrendoli di una vernice di essa sostanza: con tal cautela i sostegni di vetro e di seta e quelli di gomma lacca pura sono isolanti quasi nel grado medesimo; e pare anche dietro le sperienze del Coulomb, ch' essi possano compiutamente isolare le deboli cariche elettriche, quando hanno una lunghezza di 15, o 20 pollici, e che si ha la cura di riscaldargli prima dell' esperienza per evaporizzare l' umidità che vi si attacca. Intanto, siccom' essi non isolano perfettamente se non sotto la condizione di avere una lunghezza grande, è manifesto ch'essi s'imbevono sempre di una picciola quantità di elettricismo, ed in tal modo si concepisce che una carica più forte reagendo sulla medesima con più energia, respinge il fluido sino all' estremità del sostegno, e lo sforza di passare nel suolo con uno scolo lento e continuo. Ben si ravvisa che un corpo è perfettamente isolato, quando,

sostenendolo con molti sostegni, esso prova la perdita stessa che se fosse sostenuto da uno solo, e si è allora ben certo che la perdita sofferta è dovuta al contatto dell'aria.

La perdita per via dell' aria è dovuta in gran parte al vapore aqueo, ch' è sempre più o meno abbondante nell' atmosfera, dappoichè lo stesso aumenta a misura che l' igrometro corre verso l' umidità : il fatto è in modo evidente che, se per esempio si soffia su di un tubo elettrizzato o su di un bastone di resina, non vi rimarrà più niuna traccia del suo elettricismo ; ed è lo stesso quando si soffia su di un corpo conduttore isolato, ma non bisogna in tal caso soffiare troppo vicino per non soffrirne la commozione. L' elettricismo, che scorre in tal modo pel vapore acqueo, di mano in mano nell' atmosfera ambiente si spande, ed è probabile che la trasmissione non accada, senza che le molecole di vapore provino una grande agitazione. Ma non tutta la perdita di elettricismo che si fa per l' aria è dovuta alla presenza del vapore : l' aria più perfettamente disseccata dal muriato di calce, dall' acido solforico, o da altri corpi assorbenti, lascia tuttavia scappare col tempo una quantità di fluido elettrico dai corpi che circonda. Se ne può fare la prova nella bilancia del Coulomb, dopo aver disseccata l' aria contenutavi, e dopo avere elettrizzata la palla dell' ago e la palla fissa. Supponiamo a cagion di esempio che queste due palle siano mantenute a 20° di distanza da una torsione di 250° del micrometro superiore: in tal caso la forza che fa equilibrio alla ripulsione elettrica sarà di $250 + 20 = 270°$; col tempo vedrannosi le due palle accostarsi, e dopo *l'* sarà mestieri storcere il micrometro superiore di 6°, per esempio, per rimetterlo alla distanza primitiva di 20°. Sicchè in *l'* la *forza elettrica perduta* sarà quella, che fa equilibrio a 6° di torsione, e se vuolsi avere la corrispondenza sua alla *media forza elettrica* che ha luogo durante questo minuto, basterà notare che questa forza in principio era 270° ; nella fine era $244 + 20 = 264$ la cui media è $\frac{270 + 264}{2} = 267$; dal chè infine risulta che durante un minuto la perdita è stata $\frac{6}{267} = \frac{1}{44,5}$; cioè quasi la quarantesima quarta parte della forza media.

In tal maniera il Culomb è pervenuto a valutare con esattezza la perdita per l'aria: nè di secchi sovente si trova ch'essa non è più di $\frac{1}{80}$ od anche di $\frac{1}{70}$ della forza media per minuto; ma ne' tempi alquanto umidi, la giunge qualche volta ad $\frac{1}{20}$; allora è impossibile quasi di fare esatte sperienze. Allorchè ci ha poche variazioni atmosferiche o nel calore o nella direzione del vento la perdita per l'aria rimane notabilmente la stessa nello spazio di un giorno, e si può di leggieri paragonare la perdita che ha avuto luogo nella bilancia, a quella che ha avuto luogo al di fuori su di un corpo conduttore elettrizzato: per questo si va a toccare siffatto corpo con una palla isolata o con un piano di prova, che si ripone subito nella bilancia; si pone in contatto con la palla dell'ago, ed osservasi la ripulsione; quindi si ripete dopo alcuni minuti l'esperienza medesima, avendo tuttavia l'attenzione di rimettere nello stato naturale il piano di prova e la palla mobile; ed allora si scorge una ripulsione minore, il che è un segno certo che il corpo nel secondo contatto aveva meno elettricismo, poichè ne ha dato meno al piano di prova. Or ammettendo, siccome vedremo più in là che un corpo dia al piano di prova che lo tocca, *nella stessa regione* e *del medesimo modo*, quantità di elettricismo proporzionali a quelle ch'esso possede, si vede bene che le cariche elettriche del corpo ne' due tempi del contatto, saranno proporzionali alle forze di torsione, e che in tal guisa sarà agevole determinare la perdita che nell'intervallo ha provata. Questi mezzi di paragonare le forze elettriche e di calcolare ciò che le debbono essere in ciascuno istante, quanto si conosce ciò che sono in un tempo determinato, è una delle più belle invenzioni che siano state fatte nell'elettricismo: ed è per questo soltanto che il Coulomb ha potuto stabilire sopra basi certe i principi fondamentali della scienza.

203. *Distribuzione dell'elettricismo sulla superficie de' corpi conduttori.* — L'elettricismo naturale è sparso uniformamente in tutta la massa di un corpo conduttore, ed esso vi sembra cumulato in una quantità indefinita, siccome il calore ed il magnetismo: ma non appena un

fluido è libero ovvero è separato dall' altro, esso reagisce sopra sè stesso per la forza sua repellente, e tutte le sue molecole tendono incessantemente a disperdersi, insino a che trovino un ostacolo che le rattenga. Un corpo, il quale fosse perfettamente conduttore non offrirebbe in tutta la sua massa veruna resistenza a siffatta dispersione, ed il fluido giunto rapidamente nella sua superficie, ne uscirebbe per ispandersi più lungi, se si abbattesse in uno spazio egualmente permeabile: ma lasciando il voto passare l'elettricismo, un corpo elettrizzato che fosse posto nel mezzo del voto, perderebbe al momento tutto quanto il suo fluido libero. Sicchè la terra è in mezzo a' pianeti la sola probabilmente che possa essere elettrizzata nella superficie sua, essendo la sola che sembra abbia un' atmosfera d' intorno di sè. Noi vedremo che i metalli stessi non hanno una perfetta conduttibilità, intanto il fluido elettrico passa tanto celeremente da un punto all' altro della massa loro, che noi almeno finora possiamo credere che l' elettricismo, onde sono carichi, non abbia a vincere niuna resistenza per moversi nella loro sostanza. Dalla quale ipotesi risulta che l'elettricismo libero sviluppato in un qualsiasi punto di un conduttore metallico, va sempre nella sua superficie, dove trovasi arrestato dall' aria ambiente. Ma in qual maniera si dispone nella massa totale del conduttore? Bisogna per l' equilibrio che vi si spanda uniformemente, siccome la aria dentro a un pallone? ovvero bisogna che le sue molecole obbediendo alla loro forza ripellente vadano ad accumularsi e ad urtare contro l'aria che ne inviluppa la superficie, o contro i corpi non conduttori che la ricoprono?

Ecco tre sperimenti che possono dare alcuna luce su questo punto fondamentale della teorica:

1° Un globo isolato, rappresentato figura 300, è ricoperto di due emisferi di carta metallica o di foglia metallica, che si possono ad arbitrio mettere o torre via per mezzo de' due manichi di vetro v e v': in questo stato si elettrizzano, quindi si levano celeremente gli emisferi, ed il globo spogliato in tal guisa del suo viluppo, è altresì compiutamente spogliato del suo elettricismo. Adunque il fluido corre alla superficie, e vi si cumula in modo che non ne rimane più nell' interno.

2° Una sfera del diametro di 7 od 8 pollici avente una picciola cavità larga 8 ovvero 10 linee ed 1 pollice profonda è isolata e caricata di elettricismo: quando col piano di prova si va a toccarne la superficie, ci si attigne del fluido; ma toccandola nel fondo della cavità il piano di prova rimane notabilmente nello stato suo naturale.

3° Infine due sfere conduttrici dello stesso raggio sono elettrizzate insieme e poi separate. Si va a toccare l'una di esse con una sfera massiccia di metallo, e l'altra con una sfera dello stesso raggio della precedente ma fatta di foglia metallica o di carta dorata, o semplicemente con l'incollare sfoglie di stagno o di oro battuto su di un globo di resina. Dopo il contatto col piano di prova e con la bilancia si fa il saggio delle forze elettriche delle due prime sfere, e si trovano esattamente uguali: adunque la sfera massiccia di metallo non ha tolto alla prima più elettricismo di quello, che la sfera *superficiale* ha tolto alla seconda; il che prova evidentemente che l'elettricismo libero non risiede giammai nell'interno de' corpi, ma che sta sempre nella superficie, ed ancora che non vi occupa più di un'insensibile spessezza; conciosiachè, se lo strato di fluido elettrico dovess'essere più doppio di una sfoglia di oro battuto, la sfera superficiale non ne prenderebbe quanto la sfera piena.

Queste prove sperimentali sono comfermate ancora da una prova matematica: dappoichè questa disposizione di fluido elettrico nello stato suo di equilibrio è una stretta conseguenza della repulsione, che opera sulle sue molecole in ragion inversa del quadrato della distanza.

Dal perchè il fluido elettrico spinto de sè medesimo forma nella superficie de' corpi una spessezza minore di una sfoglia d'oro battuto, non si vorrebbe conchiudere che tale spessezza è insensibile; e che la non entri per niente ne' fenomeni. Le dimensioni, che sfuggono all'accorgimento diretto de' sensi nostri, non però sono meno paragonabili fra di loro; e le spessezze infinitamente picciole degli strati elettrici possono essere dieci volte, cento volte raddoppiate l'una sull'altra, al pari delle spessezze che si calcolano per tese o per metri. Su di un globo condutto-

re elettrizzato (*fig. 298*), essendo tutto simmetrico intorno del centro, chiaro è che lo strato elettrico debbe avere la stessa spessezza da per tutto; così essa è contenuta tra la superficie *e e'* del globo, dove si ferma contro l'aria, ed un'altra superficie *i i'* similmente sferica, che passa *di sotto* o *per entro* alla prima in una quantità infinitamente picciola: questa superficie *interna* del fluido elettrico è la sua superficie *libera*. Dapprima sembra che una molecola di fluido, siccome *m*, non possa essere in equilibrio in tale stato, ma concependo il piano *p m p'* ci si vedrà che se tutto il fluido che sta al di sopra, in forza della sua ripulsione tende di far precipitare la molecola *m* verso il centro, tutto il fluido che sta al di sotto tende al contrario di respingerla verso la superficie, e matematicamente si dimostra che per la legge della ragione inversa del quadrato della distanza, queste due forze opposte si debbono fare esattamente equilibrio. Ma così non è di una molecola *m'* della superficie esterna: questa è respinta lungi dal centro da tutte le molecole del fluido: quindi il continuo sforzo ch'esercita contro l'aria o contro i corpi non conduttori, su' quali si appoggia.

Il Sig. Laplace ha dimostrato che il fluido elettrico ha una forza repellente, ch'è dovunque proporzionale alla sua doppiezza; e siccome la pressione ch'esso fa contro l'aria o contro gli ostacoli che lo arrestano è in ragion composta della sua forza repellente e della sua spessezza, ne risulta che siffatta pressione in ciascun punto e sopra ciascun elemento della sua superficie è proporzionale al quadrato della spessezza dello strato, che si trovi in questo punto o sopra questo elemento. Sicchè il fluido elettrico sparso i tutt'i corpi conduttori può esser considerato come i fluidi ponderabili contenuti in vasi, contro i quali esercitano pressioni: quando siffatti vasi sono resistenti abbastanza il fluido è contenuto; quando troppo deboli sono per resistere alla pressione, le pareti crepano ed il fluido esce fuori: il vaso è pel fluido elettrico il suo corpo conduttore, la parete è l'aria che l'inviluppa, ovvero lo strato di vernice non conduttore che il copre; e quando la spessezza dell'elettricismo è assai grande esso rompe l'a-

ria o perfora lo strato di vernice, e la scintilla scoppia, il che è segno di uno scolo rapido del fluido. Quando lo strato elettrico è arrestato e mantenuto in equilibrio, chiaro è che la somma delle azioni, ch'esercita su di un punto interno qualunque, come n, è sempre nulla: senza di che essa opererebbe per influenza una nuova decomposizione de' fluidi naturali, che sono in tal punto, e l'equilibrio resterebbe turbato.

Su di un ellissoide di rivolgimento (*fig.* 299) la spessezza elettrica non è più la medesima ne' diversi punti della superficie. Ei risulta dalle condizioni matematiche, delle quali facemmo dianzi parola, che al polo p ed in un punto q dell' equatore le doppiezze sono tra loro come i raggi vettori cp e cq: per conseguenza le pressioni sono tra loro siccome i quadrati di cp e cq. Se per esempio l'ellissoide è allungatissima, di maniera che $cp = 100\ cq$: la pressione nel punto p sarà 10,000 volte maggiore, che nel punto q; dunque gli è sempre per la più assottigliata estremità dell'ellissoide che se ne dovrà il fluido scorrere.

Una punta moltissimo acuta può sempre venir considerata, siccome il polo di una prolungatissima ellissoide di rivolgimento: sicchè per quanto sia fiacca la carica elettrica di siffatto corpo, il fluido che si cumula nella sua cima vi formerà sempre una spessezza abbastanza grande per vincere la resistenza dell' aria: di qui *il potere delle punte*, ch' era stato scoperto dal Franklin prima che venisse spiegato dalla teorica. Qualche volta suol dirsi che le punte hanno il potere di attrarre il fluido elettrico; ma è precisamente l' opposito che si deve dire: esse hanno la proprietà di lasciare scorrere il fluido, onde sono caricate. Se ne possono fare innumerevoli esperimenti di tal proprietà; noi accenneremo i seguenti:

1° Una punta acuta essendo allogata su' conduttori della macchina, impossibil cosa diventa il dare loro elettricismo ed estraerne scintille: il fluido si dissipa per la punta, a misura che si sviluppa in virtù del movimento della macchina.

2° Una punta comunicante col suolo presentandosi ai conduttori della macchina alla distanza di un piede, di-

verrà del pari impossibile di caricarli: l'elettricismo del conduttore decompone per influenza l'elettricità della punta; esso respinge nel suolo quella del medesimo nome ed attrae quella di nome contrario, che si cumula nella punta, e scappa attraverso dell'aria per andare a neutralizzare quella del conduttore.

3° Una campana a *punta* (*fig. 301*) stando sotto ai conduttori della macchina, alla distanza di due ovvero anche tre piedi, il romore de' piccioli pendoli p e p' annunzia lo scolo dell'elettricismo. Questa sperienza è la stessa della precedente: le linee nere nella figura rappresentano i fili che deggiono esser non conduttori.

Noi dovremo far ritorno sulle proprietà delle punte quando parleremo della luce elettrica e soprattutto quando dovremo studiare nella Meteorologia l'elettricismo atmosferico e la struttura de' parafulmini.

Gli angoli ed i lati dei corpi conduttori presentano fenomeni analoghi a quelli delle punte: l'è perciò che ei bisogna accuratamente evitare tutte le forme angolose negli apparecchi destinati a conservare l'elettricismo. I precedenti risultamenti ci menano ad una quistione generica, della quale bene possiamo ora intendere il senso e l'estensione. Si diano de' corpi conduttori, de' quali si conoscono le forme e le grandezze: altri sono nello stato naturale, altri hanno cariche note di elettricismo vitreo o resinoso: si mettano di prospetto per formare un sistema cognito di positura; si suppone che i fluidi reagiscono semplicemente senza far passaggio da un corpo all'altro: or si domanda qual è lo stato elettrico di un qualsiasi punto di siffatto sistema; cioè che specie d'elettricità vi si trova, e quale doppiezza vi forma.

Coulomb ha dato un mezzo sperimentale di sciorre siffatto problema in tutta quanta la sua estensione. Ecco il principio sul qual esso riposa: quando un piano di prova esilissimo e molto picciolo, è situato tangenzialmente sur una superficie elettrizzata, e poi ritratto perdicolarmente senza toccarla pe' suoi orli, esso fia caricato su ciascuna faccia di una doppiezza elettrica, ch'è la metà di quella, che possedeva la superficie nel punto di contatto.

Coulomb ha dimostrato siffatto principio, determinando la corrispondenza, secondo la quale l'elettricità si divide tra una sfera ed un piano circolare, che va a toccarla per il suo centro, e ch'è stato perpendicolarmente ritratto. Ma se ne può dare in altro modo ragione: quando il piano di prova è tangente ad una superficie, esso confondesi con l'elemento che il tocca, e prende in certo modo il suo posto relativamente all'elettricismo, o piuttosto esso stesso diviene l'elemento sul quale il fluido si spande; in tal guisa quando si ritrae un tal piano, si fa la medesima cosa che se si fosse tagliato sulla superficie un elemento della stessa doppiezza e dell'estensione medesima di esso, e si fosse ritolto per portarlo nella bilancia, senza che niente perda dell'elettricismo che il copre; questo elemento separato una volta dalla superficie non avrebbe altro ne'suoi diversi punti che una doppiezza elettrica per metà minore, dappoichè il fluido dovrebbe spandersi per coprirne le due facce. Stabilito questo principio, l'esperienza non richiede altro che abitudine e destrezza: dopo aver toccato un punto della superficie col piano di prova, si arreca nella bilancia, dove divide il suo elettricismo col disco dell'ago che gli è uguale, e si osserva la forza di torsione ad una distanza cognita. Si ripeta l'esperienza medesima toccando un altro punto, e la corrispondenza delle forze di torsione sarà pur quella delle ripulsioni elettriche; se ne prenda per aver la corrispondenza delle spessezze la radice quadrata. Adunque l'ingegno di Coulomb ha dato nel tempo medesimo ai matematici la legge fondamentale, secondo la quale la materia elettrica si attira e respinge; ed ai fisici un'altra bilancia e de' principi di esperienza, per mezzo de' quali eglino possono in certo modo scandagliare la spessezza dell'elettricismo su tutt'i corpi, e determinare le pressioni ch'esercita sugli ostacoli che l'arrestano.

Il problema generico testè menzionato, il qual può essere in tutt'i casi tanto agevolmente e compiutamente risoluto dall'esperienza, può essere attaccato ancora dall'analisi matematica. Il Sig. Poisson ha pubblicato due Memorie su tal subbietto (*Mem. dell' Istituto*, 1811, 1ª

e 2ª parte): egli, fondandosi sulla legge del Coulomb e su di alcuni teoremi fondamentali dell' attrazione degli sferoidi dimostrati dal Sig. Laplace, perviene a dell'equazioni generiche, che dipoi scioglie, pel caso di un' ellissoide o di due sfere, col mezzo di quelle dotte sottigliezze di calcolo, che tanto gli sono famigliari.

Nell'impossibilità, in cui noi siamo di far conoscere siffatto lavoro, anche in ristretto, noi ci contenteremo di citare alcuni de' più notevoli risultamenti; i quali tanto più sono decisivi a provar l'esattezza dell'analisi, perchè il Coulomb gli avea dimostrati con l'esperienza. (*Mem. dell' Accademia*, *1787*).

1° Qualunque siasi la corrispondenza de'raggi di due sfere elettrizzate, quando esse si toccano, la spessezza elettrica è nulla nel punto di contatto.

2° Incominciando dal punto di contatto la spessezza elettrica cresce lentamente; appena diventa sensibile essa diventa più grande sulla sfera del raggio più grande; ma in seguito ad una distanza determinata, essa incomincia a crescere celeremente sulla sfera più picciola, di modo che la vi è sempre maggiore ad una mezza-circonferenza di distanza dal punto di contatto.

3° In questi punti, diametralmente opposti al punto di contatto, la corrispondenza delle spessezze è tanto più grande, quanto la piccola sfera è più piccola, ma tende verso un limite, ch'è 4, 2.

4° Quando queste sfere si separano, e si sottraggono alla loro scambievole azione, la spessezza elettrica è sempre più grande sulla più picciola; e la corrispondenza di queste spessezze tende similmente verso un limite, ch' è $\frac{5}{3}$.

5° Quando queste sfere si allontanano solamente in distanze diverse, in modo che rimangano sommesse alla loro scambievole influenza, il comune elettricismo loro essendo per esempio il vitreo, la sfera piccola prende l'elettricismo *resinoso* nel punto *più prossimo* alla sfera grande, e ad una certa distanza intorno di questo punto; essa continua di essere elettrizzata *resinosamente in questa parte*, a misura che la si allontana, ma di meno in meno; quando lo spazio che divide le sfere è (nelle circostan-

ze più favorevoli) quasi uguale a mezzo raggio della più grande, l'elettricismo resinoso sparisce; e più in là la picciola sfera diventa vitrea su tutta la sua superficie, al pari della più grande.

Allorchè il raggio della picciola sfera oltrepassa il sesto del raggio della grande, l'elettricità resinosa apparisce ancora, ma scomparisce prima che l'intervallo delle sfere sia uguale a mezzo raggio della più grande.

6.° Quando una picciola sfera presa nello stato suo naturale è elettrizzata dall'influenza di una sfera più grande, essa reagisce su di questa per turbare la spessezza uniforme del suo strato elettrico, ed allora questa spessezza va decrescendo dal punto più vicino della picciola sfera sino ad una distanza di $\frac{1}{4}$ di circonferenza; più in là torna ad essere crescente infino al punto diametralmente opposto.

CAPITOLO IV.

Dell' Elettricità dissimulata.

204. *Della dissimulazione dell'elettricismo e della sua ricomposizione lenta o improvvisa.* — Immaginiamo due dischi conduttori a, a' (*fig. 315*) posti dirimpetto e separati da una lamina non conduttrice n di vetro o di resina; quando il disco a riceve, per esempio, elettricità vitrea, ed il disco a' resinosa, queste due elettricità si attirano attraverso della lamina non conduttrice n e ne premono le due superficie opposte per mezzo dello sforzo ch'esse fanno per ricongiungersi: dicesi allora che siffatte elettricità sono *dissimulate*. E di fatti quando i dischi son caricati si può toccarli o l'uno o l'altro, senza che il loro fluido scorra nel suolo, ma ci bisogna toccarli *partitamente* e non *simultaneamente*; il fluido di quello che è toccato non obbedisce alla forza repellente, che gli è propria, dappoichè viene attirato e ritenuto dal fluido dell'altro. In tal modo le più forti cariche elettriche si cumulano su'dischi, si premono sulle superficie opposte della lamina non conduttrice, e restano dissimulate l'una dall'altra, insino a che non sia data uscita nel suolo solo ad *uno* de'due fluidi. Supponiamo che i due dischi siano matematicamente della stessa forma e della grandezza medesima, che la lamina n sia pianissima nelle sue due faccie, e per tutto ugualmente spessa; e che la macchina o la qualsiasi sorgente, che dà elettricismo vitreo al disco a per mezzo del filo f sia esattamente della medesima forza di quella, che dà elettricismo resinoso al disco a', per mezzo del filo f', di maniera che sia tutto simmetrico dall'una e dall'altra parte del piano, che passa per mezzo della spessezza n: in tal caso è ben chiaro che i due dischi avranno sempre cariche eguali e che ne' punti simmetricamente posti su ciascuno di essi le spessezze o le tensioni

elettriche saranno eziandio sempre le stesse. Ciò posto ecco un principio fondamentale dell' elettricità dissimulata: dopo aver dato all' apparecchio una qualsiasi carica, e quindi averlo isolato sopprimendo la comunicazione de' fili f ed f' senza farli toccare col suolo, accade sempre che la *dissimulazione non è compiuta*, cioè che non esiste alcun punto nè su' dischi nè su' fili dove la tensione sia assolutamente nulla. Siffatta tensione è grandissima sulle facce interne i ed i'; e quivi allorchè le superficie hanno molta estensione i fluidi possono premere la lamina n con tanta forza, ch' essi apronsi un passaggio attraverso della sua sostanza e la penetrano per ricongiungersi: se questa lamina è di resina o di zolfo, formasi allora una moltitudine di picciole fessure impercettibili; ma s' è di vetro sottile i fluidi un solo pertugio fanno, per il quale si precipitano con iscoppio per ricomporsi. Sulle facce esterne e, e' e su i fili ff' la tensione elettrica che si esercita contro l' aria è debolissima in paragone della tensione interna: ma pur essa esiste, siccome si può farsene certi col piano di prova, o ancora presentando la giuntura del dito successivamente a ciascun disco ovvero a ciascun filo, dappoichè se ne estraggono picciole scintille. La dissimulazione non può essere compiuta, conciossiacchè i fluidi accumulati nella maggior parte sulle superficie interne i ed i' rimangono ancora separati dalla spessezza della lamina non conduttrice n, e perchè gli è nel contatto soltanto che essi possono essere del tutto neutralizzati l' uno dall' altro. Sicchè la dissimulazione tanto più è perfetta, quanto più la lamina non conduttrice è sottile; ma nel tempo stesso più la lamina è sottile e meno resistenza essa offre alla pressione elettrica. Quivi è, siccome or ora vedremo, ciò che limita il grado di cumulamento, che noi possiamo dare all' elettricismo.

Essendo l'apparecchio caricato, siccome testè dicemmo, l'elettricità dissimulate possono ricomporsi celeremente o con lentezza.

La *celere ricomposizione* si determina nel modo seguente: prendasi pe' suoi manichi isolanti $m\ m'$ *l' eccitatore* $b\ c\ b'$ (*fig.* 316) del quale i due archi di ottone $b\ c$, $c\ b'$ sono mobili dintorno alla cerniera c; toccasi l' uno

de' dischi con la palla b, ed all' altro disco si accosta la palla b' ad uno o due pollici di lontananza; la scintilla scatta con molta luce e romore, e l' apparecchio è scaricato. In forza della tensione elettrica, ch' è nel punto di contatto b, una parte del fluido vitreo si spande su tutto l' eccitatore, allora il fluido resinoso è attirato men che non era, la sua spessezza diminuisce sulla faccia i' ed aumenta sulla faccia esterna e' donde attira il fluido vitreo ch'è in b; questa attrazione fa accorrere il fluido vitreo verso b', esso si cumula in questa parte, diminuisce sul disco a, e nel tempo stesso il fluido resinoso diventato più libero, si conduce e si accumula verso la faccia esterna di a' dov'è di presente attirato; infine la tensione è abbastanza forte per aprirsi un passaggio nell' aria, e tutto il fluido si precipita e si ricompone all' istante.

La *ricomposizione lenta* offre fenomeni mirabili e mostra anche meglio il giuoco dell'elettricità dissimulate. Essendo i dischi elettrizzati ed isolati (*fig. 317*), due piccioli pendoli, p p' comunicando con le loro facce esterne provano una ripulsione prodotta dall' elettricismo che sta libero su tali facce; toccando il disco a per esempio, se n' estrae una piccola scintilla, il pendolo p ricade, ed il pendolo p' si rialza all' istante, come se il disco a' avesse presa una carica novella, ma questo accrescimento di ripulsione solo dal fluido resinoso risulta, ch' è divenuto libero per la perdita di vitreo provata dal disco a; si tocca in seguito il disco a', il suo pendolo ricade, e quello di a si rialza; si ritorna al disco a, il fenomeno stesso si riproduce; e così in seguito alternatamente, insino a che l'apparecchio sia compiutamente scaricato.

Noi abbiamo supposto che i dischi ricevessero elettricismo l'uno da una sorgente resinosa e l'altro da una sorgente vitrea, e che ciascuno di essi ne ricevesse uguali quantità; ma sovente non più di una macchina sola si adopera: il disco a per esempio è posto in comunicazione con la stessa, ed il disco a' in comunicazione col suolo, allora questo si carica *per influenza*, e la carica che prende è sempre minore della carica di a. Quando le comunicazioni son rotte, il pendolo p' è in riposo ed il pendolo

p diverge; ma la perdita per l'aria trovandosi proporzionalmente più grande sul disco a, si vede il suo pendolo a poco a poco abbassarsi, mentre il pendolo p' si rialza, e stabilita una volta l'eguaglianza di divergenza, la perdita per l'aria diventa uguale; i due pendoli ricadono insieme tanto più lentamente quanto l'aria è più secca. Invece di due dischi separati da una lamina di vetro, ci si può adoperare per le precedenti sperienze un semplice quadrato di vetro, sulle facce del quale s'incollano delle foglie di stagno, lasciando scoverte sugli orli uno spazio di due o tre pollici, che s'inverniciano per accrescere la sua incondultibilità (*fig. 318*).

205. *De' condensatori.* — Tutti gli apparecchi, in cui si accumula elettricismo dissimulato, si compongono essenzialmente di due lamine conduttrici separate da una lamina non conduttrice, e si chiamano generalmente *condensatori*, dappoichè in effetto il fluido elettrico sembra condensarsi dissimulandosi. Siffatti apparecchi cangiano di forma e di nome secondo gli usi, ai quali si destinano.

Quelli che ci hanno servito nelle precedenti sperienze (*fig. 315, 316, 317 e 318*) sono de' *condensatori a lamine di vetro*, sono essi capaci di accumulare grandi quantità di elettricismo, ma per cagione della doppiezza del vetro essi non possono esser caricati, se non dalle macchine, dagli elettrofori, o generalmente da sorgenti elettriche di una gran tensione.

Il *condensatore a taffettà* (*figura 319*) è composto di un disco di legno b b' rivestito di un taffetà verniciato tt' e di un piatto conduttore cc' col manico isolante m. Essendo il piatto posto in comunicazione con una sorgente elettrica, o direttamente o per mezzo dell'asta a palla g b il fluido si spande su tutta la sua superficie, opera per influenza attraverso del taffettà sull'elettricità naturali del disco di legno, che dee comunicare col suolo, e l'apparecchio si carica in ragion della tensione della sorgente che gli fornisce del fluido. In seguito si alza il piatto perpendicolarmente per separarlo dal taffettà, e per riconoscere con l'elettroscopio o con la bilancia, la specie e la quantità dell'elettricismo che il carica. Il taffettà è meno doppio

del vetro, ma è meno solido ancora; dal che risulta che questo condensatore acquista sempre più elettricismo del precedente, e che non può resistere mai a cariche tanto forti: giova per provare il fluido delle sorgenti che non hanno una gran tensione.

Il *condensatore a lamine d'oro* (*fig. 320*) non è altro che un elettroscopio a lamine di oro, sul quale si adattano due piatti metallici, sottili e bene drizzati: il superiore cc' è mobile e s'innalza con un manico isolante, l'inferiore ff' è confitto alla guarnitura gg' della campana hh', e la lamina non conduttrice che li separa è disposta con molta arte ed accuratezza. Dopo avere separato i piatti, si coprono successivamente con un pennello di molti strati di una vernice liquidissima formata con soluzione di gomma lacca nell'alcool: questa vernice secca e la pellicola ch'essa forma è bastante ad arrestare l'elettricismo; la doppiezza sua non è di un decimo di millimetro. Sicchè i piatti sono quasi in contatto, e la dissimulazione dell'elettricismo è compiuta il più che si può: e sotto questo aspetto il condensatore a lamine di oro è il più perfetto che si conosca, ma gli esili strati di vernice non offrendo che pochissima resistenza, esso non può sopportare che le più deboli cariche. Questo apparecchio ci servirà in appresso per un gran numero di ricerche sull'elettricismo, che si sviluppa o pel semplice contatto de'corpi, o per le azioni chimiche, alle quali sono sommessi. Nell'esperienze delicate giova tenere la campana del condensatore inviluppata in una gabbia di vetro, in cui si dissecca l'aria con qualche corpo assorbente.

206. *Della bottiglia di Leida e delle batterie elettriche.* — Un vaso di vetro, esternamente rivestito di una sfoglia di oro o di stagno, che ascende fino ad alcuni pollici dagli orli, e del pari rivestito internamente o riempiuto soltanto di alcune sustanze conduttrici, di acqua, di granaglia di piombo, di foglie di oro o di metalli, forma quel che si dice *bottiglia di Leida* (*fig. 321*), o una *giarra elettrica* (*fig. 322*); l'asta $t\,b$ si chiama il *bottone*, l'*uncino* o l'*interiore* della bottiglia; dappoichè serve col fatto a mettere la superficie interna in comunicazio-

ne col suolo ò con le sorgenti elettriche; tutto lo spazio compreso tra il collo $g'g$ e l'*esterna armatura* aa' è con molta cura verniciato.

Per caricare la bottiglia la si tiene in mano per la *pancia* o per l'esterna armatura, e poi si mette il bottone in comunicazione co' conduttori della macchina, o a contatto o piuttosto ad una piccola distanza, per vedere scattare un gran numero di scintille, le quali dapprima si succedono con rapidità, poi sempreppiù si rallentano, ed indicano in tal guisa il grado della carica. L'elettricismo vitreo dei conduttori passa nella bottiglia, si spande su tutta l'interna superficie, e di là operando per influenza attraverso alla doppiezza del vetro essa decompone l' elettricità naturali dell'esterna armatura, attira la resinosa, che si cumula e si condensa sulla parete del vetro, e respinge la vitrea, che se ne scorre nel suolo per la mano e pel corpo, che gli danno passaggio. La bottiglia potrebbesi caricare anche in senso inverso, tenendo l'uncino con la mano e presentando a'conduttori la pancia; ma in tutt'i casi la comunicazione dell' una delle facce col suolo non è meno essenziale della comunicazione dell'altra con la macchina. Alcune volte la bottiglia si scarica spontaneamente con molto scoppio: ora la scintilla ha luogo fra il bottone e l'esterna armatura, ed allora può ricominciarsi la carica; ora segue attraverso alla doppiezza del vetro, ed allora la bottiglia è forata nè più adatta a servire.

Quando la bottiglia è caricata, la si pone con cautela su di un isolatore, e si può incontanente scaricarla con l'eccitatore, ovvero con lentezza estraendo alternatamente dalla pancia e dal bottone un gran numero di piccole scintille.

L' elettricismo dissimulato non rimane sulle armature interna ed esterna: esso le abbandona per attaccarsi al vetro e per premersi sulla sua superficie. Gli è quanto si dimostra per mezzo della bottiglia ad *armature mobili* (*fig. 323*): dopo averla caricata e posta su di un isolatore, togliesi via l' interno, che non porta seco se non pochissima elettricità; togliesi dopo il vetro, lasciando sull'isolatore l'inviluppo esterno, il quale del pari dà solo de-

boli segni elettrici: ma essendo state le due armature toccate e rimesse allo stato naturale, se si riporta il vetro nel l'esterna armatura, e l'armatura interna nel vetro, la bottiglia così ricomposta ha quasi la carica stessa che aveva prima ; il che dimostra in un modo evidente che queste due elettricità nella separazione de'pezzi erano rimaste attaccate alla superficie del vetro: potrebbesi ancora farsene certi stendendo una mano nell'interno del vetro, nell'esterno l'altra, quando vassi a spogliarlo delle sue armature, chè non si mancherebbe di ricevere una forte commozione.

Quando si presentano alla bottiglia parecchi conduttori per iscaricarla, l'elettricismo sempre sceglie il migliore: sicchè premendo sulla pancia con una mano una catena od un filo metallico, ei si può impunemente con l'altra mano portare al bottone l'altro estremo della catena e del filo; la scarica passa pel metallo e non mai pel corpo; intanto giova sempre di assicurarsi fin da prima che non ci ha interrompimento di continuità nel metallo, ovvero che non è troppo esile per far passare tutto il fluido, dappoichè un filo estremamente sottile non sarebbe affatto bastante a distornare il colpo.

La carica di una bottiglia si misura con la distanza, alla quale scatta la scintilla fra il bottone interno ed un altro bottone comunicante con l'esterno (*fig. 324*): l'asta *t q* è partita, la s'innoltra pian piano per mezzo della vite *v*, e si osserva la distanza da cui la scintilla è partita. Affinchè le sperienze fossero comparative bisognerebbe che, restando la medesima la palla *b*, tutt'i bottoni delle diverse bottiglie avessero le dimensioni medesime.

Ora riferiremo diversi esperimenti, de'quali si potrà dare agevolmente ragione per tutto ciò che precede.

Nel *gariglione* della figura 325 l'uno de' campanelli comunica con l'esterno della bottiglia e con l'interno l'altro; la picciola palla metallica è sospesa da un filo isolante; le oscillazioni sono tanto più rapide, quanto più è picciola la distanza de' campanelli; in un tempo secco, e con cariche mediocri se ne possono contar sempre di parecchie centinaia.

L' *aragno di Franklin*, del quale abbiamo già fat-

to parola può prendere il luogo della piccola palla di metallo della precedente sperienza.

Le *figure di Leichtemberg* sembrano indicare una essenzial differenza fra le due elettricità resinosa e vitrea: le si possono ottenere con un conduttore ordinario comunicante con la macchina, ma le si hanno più regolari e più belle per mezzo della bottiglia di Leida. Per questo effetto si prende una bottiglia caricata e si delineano delle figure su di una schiacciata di resina secchissima: prima col bottone, che contiene per esempio l'elettricismo vitreo, e poi con la pancia che contiene il resinoso. Dopo di ciò con un mantice, che contiene un miscuglio di zolfo e di minio benissimo polverizzato, si soffia sulla schiacciata di resina, ed allora si distinguono le tracce elettriche, rimaste dalla bottiglia sulla resina. Le tracce vitree diventano gialle e rosse le resinose, dappoichè nella polvere mischiata il zolfo è elettrizzato resinosamente e vitreamente il minio. Diversissime sono siffatte tracce: le gialle sono come *rizzate* in fili divergenti, mentre le rosse presentano dappertutto de' contorni arrotonditi.

Il fora-carta (*fig. 330*) offre un fenomeno notevole; essendo ciascuna punta messa in comunicazione con l'una delle superficie della bottiglia, la scintilla scatta, e la carta è perforata da un pertugio maggiore di un buco di spilla; dai due lati si osserva intorno al pertugio un picciolo gonfiore e de' filamenti tirati in fuori, come se il fluido fosse partito dal mezzo della carta per uscire dalle due sue facce. Il Sig. OErsted spiega questo fatto e molti altri analoghi, supponendo che l'elettricismo non prova moto di trasferimento nel corpo, ma solo un moto di vibrazione, in forza del quale intorno a ciascuna molecola si operano delle decomposizioni e ricomposizioni successive; in tal guisa il fluido vitreo che si presenta al punto *a* decompone i fluidi naturali delle molecole che incontra, attira il resinoso col quale si combina di nuovo per una scintilla, respinge il vitreo, che va alla volta sua a decomporre i fluidi naturali delle molecole seguenti, attirare il resinoso per combinarsi con esso con una nuova scintilla e respingere il vitreo, e così di seguito; di modo che son-

vi tante scintille quante molecole di materia ponderabile: la qual supposizione bene può esser renduta sensibile, facendo passare la scarica elettrica con granelli metallici infilzati nella seta, e separati l'uno dall'altro.

Noi ritorneremo più in là su questa importante teorica, la quale sembra confermata da tutt' i fatti dell'elettricismo chimico.

Il buco della carta non si fa a distanza uguale dalle due punte; ma nell'aria ordinaria si fa sempre accosto alla punta resinosa, ed all'aria rarefatta sotto la campana della macchina pneumatica, esso se ne allontana per accostarsi vie più alla punta vitrea. Questo fatto attestato dal Sig. Trémery non è spiegato.

Per bucare con la scarica elettrica il vetro, cangiasi un poco la disposizione del precedente apparecchio, dappoichè allora è mestieri di mettere all' estremità dell' una delle punte una goccia di un liquido conduttore, per esempio una goccia d'olio, che tocca immediatamente il vetro in un'estensione alquanto considerevole.

Il *fora-vetro* è rappresentato nella figura 327.

I liquori spiritosi più sicuramente si accendono con la bottiglia di Leida, che con la scintilla diretta del conduttore della macchina. Può anche infiammarsi del cotone ravvolto nel musco e nella resina polverizzata.

Gli è per mezzo della bottiglia di Leida che si è tentato di valutare la velocità, onde il fluido elettrico si trasmette ne' corpi. Dei fili di metallo isolati, la cui unione forma una lega, trasmettono all'istante la scarica elettrica; queste sperienze furono fatte in Francia ed in Inghilterra dal 1745 insino al 1750. In quell'epoca si tentò parimente la trasmissione dell'elettricismo per l'acqua e per mezzo del suolo secco o umido: un filo metallico molte centinaia di tese lungo, incominciando da un punto determinato, isolato su de' piuoli di legno secchissimo, se ne andava a profondarsi nel suolo dall'altro suo estremo, dopo aver traversato delle riviere e de' terreni di diverse nature: nel punto di partenza era posto in comunicazione con l'una delle superficie della bottiglia, mentre il suolo era posto in comunicazione con l'altra superficie; i fluidi

non potevano ricongiungersi se non dopo avere attraversato tutta quanta la lunghezza del filo metallico e tutta l'estensione del suolo e dell'acqua, dalla seconda estremità del filo sino al luogo dell'osservazione; e malgrado tanto spazio e tanti ostacoli, la scarica della bottiglia era istantanea, come se fosse stata fatta dall'eccitatore ordinario. In un punto qualsiasi di questa lunga catena si potevano infiammare de' liquori spiritosi, ed era allora uno spettacolo molto mirabile a vedere l'alcool accendersi con del fuoco, che tornava dall'attraversare un fiume.

La *commozione* della bottiglia di Leida è abbastanza forte per non essere pericolosa: essa passa per le braccia e pel petto, quando tenendo una mano la pancia della bottiglia, si va con l'altra a toccarne il bottone. Allora le cariche deboli si fanno sentire nell'avan-braccio soltanto, le cariche alquanto più forti si fanno sentire al cubito, e le cariche più forti ancora danno un vivo dolore al petto. Per far passare la commozione fra i due punti dati del corpo basterà di stabilire delle armature su questi due punti, cioè delle piastre metalliche, che si fanno comunicare con le due facce della bottiglia.

Allorchè molte persone formano *la catena* tenendosi per la mano, se la prima tocca la pancia della bottiglia e l'ultima il bottone, tutto il cerchio riceve la commozione all'istante: le persone che stanno in mezzo provano un urto men vivo di quelle che toccano la bottiglia. Altre volte si era curiosissimo di sapere fin dove poteva estendersi questa potenza dell'urto elettrico, e dopo averla tentata sopra circoli numerosi, si provò su di un reggimento disposto in battaglia, il quale di un colpo solo fu rovesciato.

Le *batterie elettriche* (*fig. 329*) sono riunioni di molte bottiglie di Leida o di molte giarre, li cui interni comunicano tutti per mezzo delle aste di metallo *t*, *t'*, *t''*, e li cui esterni parimente comunicano, dappoichè il fondo della cassa di legno *b*, *b'*, sul quale stanno, è una lamina di piombo. Quando vogliono riunirsi insieme parecchie batterie, si fanno comunicare tutti gl'interni fra di essi e tutti gli esterni col suolo; e per giudicare il grado di carica, si adopera il picciolo elettrometro a pendo-

lo (*fig. 326*) che si aggiusta su' conduttori della macchina: sul principio e durante i primi giri del piatto il pendolo sta quasi in riposo, dappoichè le batterie condensano tutto il fluido che si sviluppa; ma il pendolo a poco a poco s'innalza, e da' diversi angoli di slancio, che fa, si giudica de' diversi gradi della sua tensione elettrica, e quindi de' diversi gradi di tensione dell'interno delle batterie, essendo queste sempre nella medesima corrispondenza delle prime.

Una batteria può scaricarsi come la bottiglia di Leida o lentamente o con celerità; ma bisogna raddoppiar cautela per non riceverne l' urto. La doppiezza del vetro delle giarre e la tensione della macchina essendo le stesse, la forza della batteria può esser valutata dall' estensione della superficie che si carica; cento piedi quadrati condensano cento volte più elettricismo, che un solo piede quadrato, e vuolsi un uomo robusto assai per sopportare senza pericolo l' urto di un piede quadrato caricato da una macchina ordinaria.

Noi accenneremo alcuni de' più osservabili fenomeni, che si possono produrre per mezzo di questi grandi cumulamenti di elettricità.

Tutt'i corpi che ricevono l'urto sono posti frà le due branche *b* e *b'* dell' *eccitatore universale*, ch' è rappresentato nella figura 333. L' una di queste branche comunica con l'esterno della batteria per mezzo della catena *c*; l'altra comunica con una catena *c'*, che termina nella palla isolata *b*: quando si vuole far passar la scintilla, si prende la palla *b* pel suo estremo del manico isolante, si accosta subitamente all' interno della batteria; la scintilla scatta ed i fluidi si ricompongono in tutto il circuito *b*, *c'* *b'* *b* *c*.

Ponendosi fra le branche dell'eccitatore un filo di ferro molti pollici lungo, una debole scarica lo riscalda, una forte lo fa venir rosso, una più forte lo fa saltare in piccioli globi fusi che sono spinti lungi, ed una più forte ancora lo fa scomparire in vapore. Con una macchina possente Van-Marum ne ha fuso di quelli lunghi cinquanta piedi.

Una striscia ristretta di sfoglia di stagno tre o quattro pollici lunga e volatilizzata da una batteria ordinaria, il vapore si ossida e forma lunghi filamenti ondeggianti nell'aria simili a tele di aragno.

Gli altri metalli possono anche riscaldarsi, venir rossi, fondersi ed ossidarsi; ma prendendoli della stessa lunghezza e dello stesso diametro, uguali cariche non producono gli stessi effetti su tutti: i più cattivi conduttori, siccome il platino ed il ferro provano nell'eguaglianza di dimensioni maggiori effetti di calore, che non l'oro ed il rame, i quali sono i migliori conduttori.

I fili di seta dorati presentano un fenomeno particolare, che dimostra con quale celerità le molecole di materia conduttrice sono colpite dall'urto elettrico: l'oro che li copre è volatilizzato ed ossidato, senza che il calore sia nemmeno bastante di rompere la seta. A rendere più sensibile cosiffatta esperienza, si appoggia sul filo un foglio di carta bianca, sulla quale dopo l'urto vedesi una larga traccia di color bruno. Con lo stesso mezzo può togliersi la doratura da un libro o da un'altra superficie non conduttrice, purchè la non abbia troppo estensione.

Di tal proprietà si fa uso per formare delle *impronte elettriche*: *d c p r* (*fig.* 332) è un *frastaglio* di carta, a cui sono incollate due strisce di sfoglie di stagno *f*, *f'*: da un lato copresi di una sfoglia di oro, che tocca da due de'suoi orli lo stagno; dall'altro si ricopre di un nastro di raso e per rendere il contatto sicuro, tutto il sistema si pone sotto la *soppressa pp'* (*fig.* 331). Essendo poste le due strisce di stagno in comunicazione con le due facce della batteria, la scintilla scatta, l'oro si volatilizza, e per tutt'i chiari del frastaglio passa sul nastro, dove fa un'impronta regolarissima di color bruno.

Le cariche forti fanno una notevole impressione sulle masse metalliche. Priestley ha osservato che ne liquefanno la superficie in quella parte in cui le attraversano: se il metallo è poco fusibile, dopo il passaggio della scintilla non si scorge che un *cerchio di fusione* del diametro di una o due linee; ma s'è fusibilissimo come il piombo lo stagno, si scorge intorno al cerchio centrale fino a tre *anelli di fusione*, di una larghezza sensibile, concentrici

e separati l'uno dall'altro da intervalli di circa una linea.

Quando la scintilla passa in un liquido essa scoppia e brilla come nell'aria; ed il liquido quasi sempre è lanciato da tutte parti con gran violenza.

Essa scoppia del pari nella *polvere da sparo* e ne determina l'esplosione. L'esperienza può esserne fatta con piccole cartucce del diametro di due o tre linee, e lunghe quindici o venti: due fili di ferro attraversando gli opposti capi del cartuccio, vanno a metter capo verso il suo mezzo ad una picciola distanza l'uno dall'altro; e la scintilla cansando l'intervallo loro infiamma la polvere.

La scintilla produce ne'gas un'espansione tanto grande e improvvisa, che può lanciare una piccola palla per mezzo del *mortaio elettrico*, che viene rappresentato (*fig. 328*). Kinnersley, che il primo osservò questo notabil fenomeno, inventò altresì un apparecchio per misurarne l'intensità: è un tubo di vetro chiuso ed armato da' suoi due capi (*fig. 334*): la scintilla scatta fra le due palle *b b'*, ed un liquido che in pari tempo s'innalza nel tubo laterale *t t'* dà la misura dell'espansione. Questo apparecchio si chiama il *termometro di Kinnersley*.

I conduttori cattivi sono forati o infranti dalla scarica di una forte batteria: una pietra piatta doppia parecchie linee è, come sottil vetro, bucata; un cilindro di legno del diametro di due o tre pollici, ed un mezzo pollice doppio può esser fatto in schegge da una carica, che passi nel verso delle fibre.

Nella superficie di alcune sostanze la scintilla rimane un trascino luminoso, che brilla per molti secondi e certe fiate per più di un minuto: questa specie di fosforescenza è rossa o violacea sopra la creta; è verdastra sul zucchero, su certi spati calcarei cristallizzati, e sulla gres di Fontainebleau.

Ma non fa mestieri di batterie tanto forti per uccidere gli uccelli, i conigli ed anche animali di più grandezza; essi cadono subitamente, nè l'osservazione anatomica ha potuto finora scoprire quali organi sono feriti; nondimeno dalle convulsioni che provano, quando troppo fiacco è l'urto per fulminarli, si può congetturare che il sistema nervoso è violentemente attaccato.

CAPITOLO V.

Della luce elettrica e del moto de' corpi elettrizzati.

207. *Condizioni generali perchè l'elettricismo dia luce.* — Le maggiori cariche elettriche accumulate sui corpi o direttamente o per dissimulazione, mai non danno veruna apparenza luminosa, quando l'equilibrio è stabilito ed il fluido si trova in riposo. Di tal che la prima condizione della luce elettrica è il moto de'fluidi od il rompimento dell'equilibrio loro. La qual condizione necessaria sempre, non è sempre bastante; fa eziandio mestieri che la tensione de'fluidi, che determina il movimento loro, sia una forza molto considerevole. Per esempio l'elettricismo di una macchina ordinaria non dà affatto luce sensibile, quando scorre nel suolo per mezzo di un filo metallico; mentre una macchina possente può circondare di una brillante aureola un filo di ferro lungo cinquanta piedi, comunicante col suolo il più perfettamente possibile. (Van-Marum, *Descrizione della gran macchina del museo di Teyler*). La tensione necessaria alla produzion della luce è del tutto dipendente dallo stato, dalla forma e dalla conduttibilità del mezzo, in cui si deggiono muovere i fluidi elettrici: alcune volte deboli tensioni danno una luce eclatante; altre volte le tensioni più forti che si possano accumulare non danno la minima apparenza luminosa.

208. *Luce elettrica nell'aria e ne'gas sotto la pressione dell'atmosfera.* La distanza, fino alla quale può tirarsi la scintilla da un corpo elettrizzato dalla conduttibilità della sostanza sua soprattutto dipende, dall' estensione della sua superficie e dalla doppiezza dello strato elettrico, ond' è caricato; dappoichè la sola condizione, perchè la scintilla scatti, è che la tensione dell'elettricismo possa vincere la pressione dell'aria. Trovasi questa condi-

zione adempiuta ne' corpi di forme angolari, anche per cariche molto deboli, ed il fluido spontaneamente si dissipa formando de' *razzi* di luce, che brillano nelle tenebre ed i cui tratti divergenti presentano qualche volta molti pollici di lunghezza. Ne' corpi di forme rotonde, cariche potentissime fanno mestieri, perchè la scintilla scatti da sè medesima; ma se si presenta loro un conduttore comunicante col suolo, incontanente si esercita un'azione per influenza, i fluidi si rimovono in virtù della conduttibilità, si accumulano in ragione dell'estensione delle superficie, e la scintilla scatta appena che la pressione dell'aria è vinta sull'uno o sull'altro de' corpi, che sono posti in presenza. Una macchina è fortissima, quando senza il soccorso de' conduttori secondari può dare scintille a venti o trenta pollici. A siffatta distanza la luce elettrica forma un solco di fuoco, le cui tortuosità sono del tutto analoghe a' zigzag del fulmine.

Per moltiplicare le scintille che dà una macchina, ei basta moltiplicare le soluzioni di continuità del conduttore, pel quale il fluido scorre nel suolo. E su questo principio riposano tutt'i giochi della luce elettrica.

Con *granelli* di metallo infilzati nella seta e mantenuti per via di nodi a qualche millimetri di lontananza, possono comporsi delle catene, delle ghirlande o de' disegni, che sembrano risplendenti di fuoco per tutto il tempo che si gira la macchina, con la quale comunicano: fra l'ultimo ed il penultimo granello la luce apparisce nell'istante medesimo, che fra il primo e il secondo; tanto è rapida la comunicazione dell' elettricismo in tutta la catena.

I *tubi scintillanti* (*fig. 303*) si compongono con dei piccioli rombi di sfoglie di stagno, che s'incollano sul vetro accostando le punte loro a brevissima lontananza l'una dell' altra; la scintilla scatta nell' istante medesimo fra tutti essi rombi, ed il tubo o il matraccio apparisce illuminato in tutta la sua lunghezza.

I *quadri scintillanti* presentano all' occhio disegni più fini e più svariati: si formano incollando sur un quadro di vetro ordinario picciole strisce di sfoglie di stagno *b*

b', c c', ecc. (*fig.* 302), le quali formano un legame continuo da *a* fino a *z*; quindi si toglie con una punta tutte le parti di queste strisce che stanno su' contorni del disegno che si vuol fare visibile. Ciascuna di queste soluzioni di continuità è segnata da una scintilla, quando si fa passare il fluido della macchina da *z* in *a* ovvero da *a* in *z*. E così possono con molta verità rappresentarsi figure di ogni maniera: formava il gran divertimento degli elettrizzanti dell'ultimo secolo.

Il *quadro magico* è disposto altrimenti: l'una delle sue faccie è coverta di una sfoglia di stagno, e l'altra di una specie di vernice contenente molta *avventurina*; l'elettricismo si accumula per dissimulazione; e quando la scintilla scatta, si scorgono sulla faccia avventurinata tratti di fuoco che in tutt'i versi serpeggiano.

Ancora nell'oscurità si vogliono studiare i fenomeni delle punte: quando allora si mettono in comunicazione co' conduttori di una macchina forte, si veggono di brillanti razzi, siccome quello rappresentato nella figura 305; nell' estremità della punta più di un solo tratto di fuoco non si distingue, che ad una picciola distanza si partisce e si dirama in un gran numero di piccioli fili scintillanti.

L' elettricismo resinoso non dà mai razzi così divergenti e così prolungati che il vitreo; questo notabil fenomeno è di attenzione degnissimo, dappoichè sembra offrire un carattere distintivo tra' due fluidi elettrici.

Le punte, che sono in comunicazione col suolo, danno ancora de'razzi, ancora quando si trovano alla distanza di molti piedi da'corpi elettrizzati.

Tirando scintille un pò forti su di un pezzo di drappo o di seta sparso di polvere metallica o stropicciato con sottili sfoglie di oro o di argento, si osservano effetti analoghi a quelli del quadro magico. La luce apparisce in mille parti ad un tempo, e diramasi in tutt' i versi sull' estensione della sua superficie.

Le punte de'conduttori anche più esili e più prossimi danno una specie di *fosforescenza continua*: per esempio le sottilissime lamine di oro, incollate sopra vetro, rame, o legno, appariscono illuminate per tutto il tempo

che l' elettricità le attraversa, e su certi corpi cattivi conduttori la fosforescenza si prolunga per molti minuti dopo il passaggio del fluido.

Queste apparenze luminose, che l' elettricismo delle macchine ci offre, sono un' imitazion debolissima e pur nondimeno esattissima di molti fenomeni che nel tempo degli oragani in cielo ed in terra si osservano. E nella Meteorologia ci serviranno di princìpi per ispiegare tutte la forme della luce elettrica, come il lampo, le lingue di fuoco, che appaiono in cima agli alberi delle navi o sui merli delle torri elevate, ed un gran numero di altre meteore, che per gli antichi erano un obietto di terrore e di superstizione.

209. *Luce elettrica nel voto, ne' vapori e ne' gas rarefatti.* — Un tubo lungo otto o dieci piedi, nel quale si è fatto il voto, essendo posto per uno degli estremi suoi in comunicazione con una macchina ordinaria, e per l'altro in comunicazione col suolo, e' si vedrà tutto quanto il suo interno rischiarato da una viva luce. L'elettricismo più non trovando che una debole resistenza nell'aria, che rimane, si dissipa in largo in tutta la capacità del tubo, e scorre segnando il suo passaggio pertutto con tratti di fuoco. Quando le comunicazioni sono stabilite bene, la luce sembra fissa ed uniforme; ma se all' esterno del tubo si accosta un corpo conduttore, allora si condurrà verso quello ed acquisterà nel tempo medesimo più splendore. Ed accade quasi sempre che un tubo, che a siffatte sperienze è servito, dia ancora delle specie di lampi lungo tempo dopo essere stato dalla macchina separato.

Per osservar le diverse apparenze della luce elettrica secondo i diversi gradi di rarefazione dell' aria, si adopera l'apparecchio rappresentato nella figura 304; è un vaso di vetro in forma di ellissoide, che altre volte chiamavasi *uovo filosofico*: esso ad uno degli estremi suoi ha un tubo a chiave, ed all'altro un'asta a bottone, che passa in una cassa di cuoio. Quando si è fatto il più perfetto voto possibile, l'elettricismo passa liberamente riempiendo di luce tutta la capacità del vaso; quando si lascia rientrare un pò di aria, la luce meno diffusa diventa, la si re-

strigne e forma fra i due bottoni b e b' degli archi di colore purpureo; una quantità di aria alquanto maggiore dà pure meno diffusione alla luce, e così di seguito insino al momento, in cui il fluido non può scorrere più se non scattando dall'uno all'altro bottone sotto l'aspetto di scintille.

Siccome noi con le migliori macchine non possiamo formare il voto che a due millimetri, rimane tuttavia nelle precedenti esperienze una quantità di aria, che può avere una grande influenza e sulla formazione della luce e sul suo colore. Il voto barometrico essendo il più perfetto che noi possiamo ottenere, egli è bello di vedere se il passaggio dell'elettricismo attraverso ai vapori tanto rari del mercurio produrrebbe eziandio fenomeni luminosi. Fin dall'anno 1660, Picard aveva notato, che un barometro divien luminoso, quando si agita nelle tenebre; dopo si è comprovato che questo fenomeno è dovuto all'elettricismo che si sviluppa dallo strofinio del mercurio contro le interne pareti del tubo; infine Cavendish pensò di fare un *doppio barometro*, in modo che l'elettricismo dato all'uno de'mastelli fosse costretto di attraversare il voto per andare ad uscire dall'altro e scorrere nel suolo (*fig. 306*). In questo voto più de'precedenti perfetto la materia elettrica offre gli stessi fenomeni ancora: essa riempie di luce tutto lo spazio che attraversa, e si scorge che anche debolissime tensioni sono bastanti di farla passar dalla cima della prima colonna a quella della seconda.

I colori della luce elettrica sono mutabilissimi, ed i cangiamenti, che offre, sono dipendenti dalla forza della scintilla e dalla pressione del gas, che attraversa; intanto per la forza medesima e per la medesima pressione ci hanno de' gas e de' vapori, che sembrano dare in preferenza le tinte rossastre, mentre altri danno tinte gialle, turchine, o violacee.

210. *Cagioni della luce elettrica.* — Alcuni autori han pensato che il fluido elettrico aprendosi per forza un passaggio attraverso de' corpi li comprimeva fino al punto di renderli luminosi; sicchè secondo questa ipotesi i vapori di mercurio nel voto barometrico sarebbero essi stes-

si compressi e respinti con tanta violenza ch' essi svilupperebbero calore e luce. Ma non ci sono fatti positivi nè per dimostrare la falsità di questa opinione, nè molto meno l' insufficienza.

Intanto havvi un'altra supposizione, ch'è più universalmente ammessa oggidì e che più verosimile ci pare; essa sembra essersi fatta la prima volta dal Ritter, ed è stata dopo sviluppata da un gran numero di dotti, soprattutto da' Signori Davy, OErsted e Berzelius. Consiste in risguardare tutti gli atomi della materia ponderabile come gli elementi, fra'quali si compiono tutte le decomposizioni e tutte le ricomposizioni elettriche. Gli atomi possederebbero primitivamente l' uno de' fluidi: gli uni, che si chiamano *elettro-positivi*, possederebbero primitivamente il fluido positivo o vitreo, gli altri, che si chiamano *elettro-negativi*, possederebbero primitivamente il fluido negativo o resinoso: i primi inviluppati di fluido neutro avrebbero attirato del fluido negativo, mentre gli ultimi al contrario avrebbero attirato del fluido positivo; di modo che gli uni e gli altri sarebbero nello stato naturale. Ciò posto immaginiamo una fila sola di atomi elettro-positivi o elettro-negativi, e l' uno de' fluidi, che si presenta per percorrerla, è chiaro che si appaleseranno tante picciole scintille quanti atomi sono, quasi come accade alla catena de' granelli metallici, onde abbiamo parlato; il fenomeno per molti fili di atomi sarebbe lo stesso, e nel voto del barometro doppio gli atomi dispersi dal vapor di mercurio sarebbero la vera cagione della luce che si osserva; in fine nel voto assoluto non si sa quel che interverrebbe, conciossiachè il fluido neutro essendo omogeneo e senza soluzioni di continuità, niente non può dirsi degli effetti che prova, dappoichè non si sa niente del modo di aggregamento dei due fluidi, che lo costituiscono.

Comechè siffatta ipotesi paia appoggiata da tutt'i fatti noti, nondimeno giova sottometterla a prove novelle e di riguardarla piuttosto siccome un mezzo di cercare la verità, che come la verità essa propria.

211. *Cagione del movimento de' corpi non conduttori elettrizzati.* — Egli non pare che siavi alcuna attra-

*

zione in distanza, nè alcuna affinità tra il fluido elettrico e la sostanza de'corpi non conduttori, dappoichè tutti siffatti corpi perdono l' elettricismo loro nel voto. Dopo ciò se noi consideriamo due palle di gomma lacca per esempio caricate l'una e l' altra di una medesima elettricità, e poste dirimpetto, la sola forza, che le sollecita, è la ripulsione di tutte le molecole del fluido onde sono rivestite; l' effetto immediato di questa forza sarebbe adunque di allontanare siffatte molecole, e di disperderle da tutte le parti, se potessero moversi liberamente: per esempio se le due palle erano nel voto esse rimarrebbero immobili, mentre l' elettricismo loro obbedendo alla sua propria ripulsione, si spargerebbe insino ai limiti dello spazio; ma sospese in mezzo dell' aria, ch'è un conduttore cattivo, il fluido che le copre è fermato per tutt'i versi, o meglio trova una resistenza da vincere. Quelle di siffatte molecole, che si appoggiano all' aria, non possono moversi senza spingere l'aria dinanzi da sè; e quelle che si appoggiano alla sostanza delle palle di gomma lacca non più delle prime possono muoversi senza spingerle siccome un ostacolo, che si oppone al loro cammino. E per questo doppio effetto accade che le palle sono poste in moto e sbalzate lungi l'una dall'altra.

Per rendere il fenomeno più sensibile, potrebbesi concepire che le palle di gomma lacca dopo essere state elettrizzate hanno avuta la superficie loro coperta di uno strato di sostanza impermeabile all'elettricità, di modo che il fluido, che le carica, sia come imprigionato fra le due materie non conduttrici. Allora è manifesto che tutte le azioni repellenti, che fra le molecole elettriche si esercitano, immediatamente si trasmettono alle molecole ponderabili pel solo fatto della passiva resistenza, chè oppongono. Lo strato d'aria, che inviluppa i corpi, fa precisamente l'ufficio di quello strato impermeabile all'elettricità.

Nel modo stesso si dimostra che palle caricate di fluidi opposti debbono essere trascinate ed attirate dallo sforzo, che fanno le molecole di questi fluidi per ricongiungerle.

Il ragionamento medesimo si applica a tutt' i corpi non conduttori, qualunque ne sia la forma; ed è mani-

festo che, se un corpo non conduttore preso nello stato suo naturale, non è mai nè attirato nè respinto da un corpo elettrizzato, ciò accade semplicemente perchè non essendo i suoi fluidi decomposti per influenza e separati l'uno dall'altro, esso prova sempre due contrarie azioni, l'una attraente l'altra repellente, che sono incessantemente uguali e si distruggono.

212. *Movimento de' corpi conduttori elettrizzati.* — Già si è veduto che l'elettricismo nello stato suo di equilibrio su di un corpo conduttore forma uno strato di una certa doppiezza avente due superficie, l'una che si appoggia sull'aria ambiente, e l'altra che rimane libera nella sostanza medesima del corpo. Le molecole della superficie libera non possono mai da sè sole imprimere alcun movimento alla materia ponderabile, dappoichè hanno la facilità di rimuoversi in tutta la massa senza provarvi alcuna sensibile resistenza. Adunque tutt' i movimenti de' corpi conduttori elettrizzati sono il risultamento delle diverse pressioni, che il fluido esercita contro l'aria, o generalmente contro gl' inviluppi impermeabili che limitano le superficie loro; potendosi l'aria, che tocca un corpo conduttore, assomigliare sempre ad un inviluppo impermeabile che farebbe corpo con essa. Ciò posto, se s'immaginano delle sfere conduttrici, è evidente che caricate di una elettricità medesima le si respingono, soprattutto nelle parti delle superficie loro più lontane l'una dall'altra; mentre caricate di elettricità contrarie le si attraggono, soprattutto nelle regioni più vicine; nè accade sempre che le molecole di una superficie libera non abbiano alcuna parte al fenomeno, conciossiacchè le sono mantenute al posto che occupano da forze o da ripulsioni contrarie, le quali prendono il loro appoggio contro lo strato di aria ambiente.

Un corpo conduttore nello stato naturale è sempre da un corpo elettrizzato attirato, dappoichè essendo i suoi fluidi separati per influenza, e quello di nomi contrari essendo richiamato sempre nella più prossima regione, l'attrazione che su di esso si esercita è sempre più efficace della ripulsione, che s'esercita sull'altro ad una distanza più grande.

213. *Movimenti prodotti dallo scolo dell'elettricismo.* — Su di un perno conduttore *c p* comunicante con la macchina (*fig. 313*) si mette in equilibrio una picciola asta metallica *t t'*, li cui due capi sono aguzzati e ricurvi in senso contrario, ed appena la macchina si gira, questo apparecchio detto *arganello elettrico* acquista un rapidissimo movimento di rotazione, come se gli estremi delle punte fossero vivamente respinti. Lo stesso fenomeno si produce sopra arganelli a molte aste, e quando si sta nelle tenebre, ei si scorge, durante il movimento, dei razzi di fuoco, che da ciascuna punta si slanciano. L'elettricismo resinoso ed il vitreo presentano una differenza rispetto alla luce; ma non ne presentano alcuna rispetto al moto. Questo singolare rotamento si spiega nel modo seguente:

Il fluido elettrico sparso dovunque sulla superficie delle aste dell'arganello, dovunque esercita una pressione sull'aria ambiente, siccome l' acqua e gli altri fluidi ponderabili premono in tutt' i punti le pareti de' vasi, che li contengono. Se il fluido elettrico non trovasse uscita affatto, le pressioni opposte sempre uguali sarebbero, e l' apparecchio rimarrebbe in riposo: ma non appena se ne scorre da una punta, esso non esercita più pressione sull'orificio dello scolo, e la pressione, che nel punto opposto si esercita determina il moto con un *rinculamento* verace, interamente simile a quello, che si esercita nell' arganello a gas o nell'arganello idraulico.

214. *Movimenti prodotti da una decomposizione istantanea.* — Concepiamo una sfera conduttrice per esempio di ottone comunicante per un sottilissimo filo col suolo e posta su di un piano non conduttore indefinito, ov'è ritenuta sol dal suo peso; immaginiamo che al di sopra di essa, ad una distanza determinata si disponga un corpo capace di ricevere o di conservare le più forti cariche elettriche. Chiaro è che se la sfera è picciolissima, sarà trasportata dall' attrazione che prova, ed andrà di giù in sù malgrado il suo peso a precipitarsi sul corpo che la sollecita per influenza. Ma è chiaro altresì che il suo diametro ed il suo peso aumentando giungerà un certo limite,

dove la potenza elettrica sarà del tutto insufficiente di sollevarla: la scintilla scatterà fra lo stesso ed il corpo elettrizzato, che lo sollecita, senza che ne riceva il minimo movimento, quasi come la scintilla scatta dai conduttori della macchina, senza che siano trascinati e staccati dai loro sostegni.

Intanto veggonsi effetti del fulmine, che sembrano contrarî a questo principio: sovente sonosi vedute grandi masse trasportate a molte centinaia di passi, e soprattutto pezzi di metallo svelti dalle loro incastrature da uno sforzo equivalente a molte migliaia di chilogrammi. Questi fenomeni mi sembrano dipendere da una differenza nella decomposizione de' fluidi naturali in virtù di azioni lente o di azioni istantanee. Nel primo caso la conduttibilità basta al rimovimento de'fluidi, ed essi hanno il tempo di trasportarsi e di disporsi nella superficie, dove esercitano contro l'aria una pressione ch'è bentosto sufficiente di respingerla: tutti gli atomi della massa provano nel secondo caso simultaneamente e subitamente una decomposizione de' loro fluidi naturali; essi sono con tanta violenza colpiti, che la disposizione richiesta dalle leggi dell' equilibrio non ha il tempo di compiersi; e le masse vengono in tal modo trascinate da forze senza paragone più grandi che quelle, le quali potrebbero rinvenire il punto loro di appoggio nell' aria.

CAPITOLO VI.

Elettricismo sviluppato dalla pressione e dal calore.

215. Noi abbiamo veduto che due qualsisiano superficie s'elettrizzano con lo strofinìo, l'una prendendo il fluido vitreo ed il resinoso l'altra; ed abbiamo veduto del pari che la tensione dell'elettricismo, che in queste circostanze si sviluppa, dipende dalla natura de' corpi, dallo stato della superficie loro e dalla loro temperatura. Ma siffatta cagione meccanica non è la sola che possa decomporre o separare i fluidi: sotto certe condizioni i cangiamenti di pressione e di temperatura possono ancora sviluppare elettricismo.

216. *Sviluppamento dell' elettricismo per pressione.* — Pongasi un disco di metallo su di un taffettà ingommato; in seguito si rialzi per mezzo di un manico isolante, dopo averlo alquanto premuto, e si ritrova elettricismo resinoso su questo disco, e vitreo sul taffetà. Questa esperienza ch'è dovuta al sig. Libes non offre un carattere decisivo: l'aderenza che si stabilisce tra la superficie metallica e la superficie viscosa della vernice produce un effetto molto analogo allo stropiccìo. Ma il sig. Haüy è giunto a sviluppare elettricismo in un gran numero di corpi a superficie lisce e polite, ed in tali circostanze, che il fenomeno è certissimamente dovuto alla pressione e non allo strofinìo. Per esempio un frammento di spato calcare a facce parallele essendo premuto per un istante fra i diti, acquista una carica sensibilissima di elettricismo vitreo; lo stesso è del topazio, della calce fluata, della mica, dell' aragonita, del quarzo e di molte altre sostanze: purtuttavia la specie di elettricismo che acquistano dipende dalla natura del corpo che li preme. Il sig. Haüy ha nel tempo medesimo scoperta una proprietà mirabilissima de' cristalli elettrici per pressione: è la facoltà ch' essi hanno di conservare l'elettricismo loro per molte ore e qualche volta ancora per

molti giorni. La calce carbonata sotto questo aspetto è la sostanza più notabile: essa possede tale *forza conservatrice*, che dopo essere stata un'istante premuta, dà tuttavia a capo di *undici* dì sensibili segni elettrici (*Ann. di Fis. e di Chimica*, tom. 5). E su tale proprietà è riposta la struttura dell ago elettrico del sig. Haüy, rappresentato nella figura 314; esso rassomiglia all' ago ordinario con questa differenza sola che all' uno degli estremi invece di un globettino metallico trovasi adatta una picciola lamina di calce carbonata *cc'*, la qual si elettrizza premendola fra le dita; questo elettroscopio benissimo conservando la sua pristina forza, è uno de' più semplici e commodi per paragonare prossimamente le tensioni elettriche de' vari corpi che gli si presentano. Sicchè la facoltà di sviluppare elettricismo con una pressione data, quella di prendere tale o tal altro fluido, e quella di conservarlo più o meno lungamente, sono altrettanti caratteri, che possono servire a distinguere ed a porre in classe i cristalli.

217. *Delle elettricità prodotte dal calore.* — La turmalina ha la proprietà di attirare e di respingere i corpi leggieri: nelle Indie ed a Ceylan soprattutto, dove siffatta pietra è comunissima, si sollazzano di questa proprietà da moltissimi secoli, quasi come al tempo di Platone i Greci facevano delle attrazioni della calamita. Un fenomeno tanto raro non poteva sfuggire all'attenzione dei viaggiatori ovvero anche de' commercianti. Gli Olandesi fecero conoscere le turmaline in Europa; e dopo un centinaio di anni le proprietà elettriche, ond' esse godono, mantengono esercitata la sagacità de' fisici. Ecco i generali risultamenti, che sono stati scoperti e comprovati dal Canton, Wilson, Priestley, Bergmann, Epino ed Haüy.

1° Quando una turmalina è elettrica essa presenta sempre verso gli estremi del suo asse due *poli contrari;* l' uno agente in forza del fluido vitreo, e l' altro in forza del resinoso : la sua regione media non dà verun indizio di elettricismo. Adunqne i fluidi elettrici che nella turmalina si sviluppano sono quasi come i fluidi magnetici distribuiti, i quali diventano liberi in una calamita cilindrica o prismatica.

2° La turmalina essendo rotta trasversalmente, mentre la è elettrica, ciascuno de' suoi frammenti offre due poli, disposti nel medesimo verso de' due primitivi poli: altra osservabile analogia tra il fluido elettrico delle turmaline ed il fluido magnetico delle calamite.

Era necessario di enunciare queste due leggi generiche della distribuzione de' fluidi nelle turmaline per intendere le condizioni dello sviluppo dell'elettricismo e le particolarità, che presentano.

3° In ogni turmalina ci ha due limiti di temperatura, fra' quali tutt' i fenomeni elettrici stanno compresi; al di sopra del limite superiore ed al di sotto del limite inferiore la turmalina come gli altri corpi si porta, nè manifesta più *elettricismo polare*. Siffatti limiti sembrano essere spesso 10° e 150°, e sono generalmente poco diversi per turmaline della dimensione medesima, ma essi variano con la lunghezza.

4° Tra questi limiti quando una turmalina regolarmente si scalda, cioè in modo che provi quasi gli aumenti medesimi di calore su tutt' i punti della sua superficie, i suoi poli elettrici cominciano a comparire il vitreo da un capo il resinoso dall'altro, ed essi rimangono così per tutto il tempo che la temperatura *cangia* e *si eleva*.

5° Una turmalina avente i suoi poli per riscaldamento se regolarmente si raffredda, i suoi poli spariscono un istante per ricomparire in seguito, ma, cangiando positura, il vitreo prendendo il luogo del resinoso e *vice versa*, e questi poli, per *raffreddamento*, inversi de' primi, si mantengono per tutto il tempo che la temperatura *cangia*, e *si abbassa*.

6° La virtù polare sembra dipendere dal *cangiamento* di temperatura, in modo che ad una temperatura data, una turmalina può presentarsi in tre stati diversi, cioè: nello stato naturale, se lungo tempo è stata a questa temperatura mantenuta; co' suoi poli per riscaldamento se giunge colà riscaldandosi; e co' suoi poli per raffreddamento, se vi giunge raffreddandosi.

7° Certe volte il sig. Haüy ha osservato un rovesciamento di poli durante l'elevazione della temperatura, ed

un rovesciamento contrario, durante il raffreddamento: questo fenomeno, che non sempre accade, potrebbe dipendere da una differenza di temperatura fra gli strati della superficie e gli strati centrali.

8° Una turmalina riscaldata o raffreddata da uno dei suoi estremi soltanto sembra per alcuni momenti non possedere che solo un elettricismo in tutta la sua lunghezza; ma, siccome le due elettricità si veggono sviluppare sempre nel tempo medesimo in tutti gli altri fenomeni elettrici quali essi siano, è naturale il supporre che in questo caso, in apparenza di eccezione, i due fluidi vi si trovino ancora disugualmente distribuiti nella lunghezza o nella doppiezza della turmalina, epperò disugualmente visibili.

Per verificare tutte queste leggi dell'elettricità della turmalina alcuni osservatori, come il Priestley, facevano riscaldarla e raffreddare mentr'era sospesa ad un filo di cotone, ed il Sig. Haüy la collocava su di un picciolo apparecchio, rappresentato nella figura 312.

Egli ci ha un grande numero di cristalli, che offrono proprietà elettriche analoghe a quelle della turmalina.

TERZA SEZIONE

DEL GALVANISMO.

CAPITOLO PRIMO

Dell' elettricismo sviluppato pel contatto.

218. *Scoverta del galvanismo.* — Nell'anno 1789 Galvani medico e professore a Bologna osservò un fenomeno singolare: avendo avuto occasione di apparecchiar delle ranocchie per diversi obbietti di ricerche, ei le appese a caso ad un balcone di ferro con de' piccoli uncini di rame, che passavano tra i nervi lombari e la colonna dorsale; così disposte queste ranocchie morte e mutilate provavano vive convulsioni. Un osservatore volgare avrebbe potuto rimarcare il fatto, ma ne avrebbe facilmente immaginata qualche speciosa spiegazione, e l'animo suo soddisfatto avrebbe pensato ad altro. Galvani fu ne'giudizi suoi meno pronto: dotato di una penetrante attenzione e di una rara sagacità, egli trovò in questo fenomeno un principio nuovo, e ne trasse quella branca feconda della fisica nota oggidì sotto il nome di *Galvanismo*.

Egli dapprima conobbe che le ranocchie recise, spogliate e sospese, come abbiamo detto, non provano mai convulsioni permanenti: perchè i loro membri si agitino, bisogna, che o il vento o qualche altra accidentale cagione vada a mettere i muscoli loro in contatto con l'asta di ferro, che ha l'uncino di rame. Indispensabile è siffatta condizione, e si può convincersene con la presente espe-

rienza: per questo si taglia una ranocchia viva, si scortica con prestezza, e passando la punta delle forbici sotto i due nervi lombari, che appariscono come fili bianchi da ciascun lato della colonna vertebrale, si strappano in due botte le due o tre vertebre inferiori, in tal modo i nervi lombari sono scoperti e formano il solo appicco, che liga tuttavia i membri inferiori alle vertebre superiori; un filo di rame, che passa fra'due nervi e li tocca, va ad abbrancarsi ad un filo di ferro ricurvo ed abbastanza lungo per andare a toccare le giunture de' muscoli. Ad ogni contatto le gambe si ripiegano e si agitano, e questa metà di ranocchia morta sembra ripigli vita per saltare. I quali effetti possono anche riprodursi a capo di alcune ore, ma per lo più le convulsioni s'indeboliscono molto prestamente, e dopo 20 ovvero 30 minuti non altro si osserva che leggieri palpitazioni nella fibra de' muscoli.

Ecco un fatto regolare, costante, e ben distinto, del quale sono note le condizioni e che si può riprodurre ad arbitrio. E solo stabilendo questo punto fondamentale il Galvani ha aperto una via novella, ed ha distinto le commozioni, di cui si tratta, da que' movimenti vaghi e convulsivi, che spesso si osservano negl' insetti, ne' rettili, e ne'pesci, lungo tempo dopo le varie mutilazioni fatte loro soffrire. Il Galvani preoccupato da qualche sistema su di un fluido nervoso o di un fluido vitale non tardò ad immaginare una spiegazione del fenomeno, la quale fu relativa alle idee sue del momento: le commozioni della ranocchia, ei dice, sono eccitate da un fluido, che passa dai nervi ai muscoli per mezzo della comunicazione esterna che si stabilisce fra di essi; questo fluido esiste ne' nervi, attraversa l'arco conduttore, cioè l'uncino di rame e l'asta di ferro, e nell'istante del contatto si va a precipitare sui muscoli ed a contrarli, quasi come farebbe una scarica elettrica.

Questo fluido novello fu chiamato *fluido galvanico*, ed i corpi organizzati furono rispetto a questo fluido considerati siccome una specie di bottiglia di Leida, della quale i muscoli e i nervi erano le due armature.

Il romore di cosiffatta scoperta fu sparsa bentosto in

Alemagna, in Francia ed in Inghilterra; dovunque si affrettavano di ripetere, di variare gli esperimenti; il fenomeno stesso grande ammirazione eccitava; ma la speranza di rinvenire ne'corpi animati un fluido sottile, un principio vitale dava pure più ardore all'attiva curiosità dei sapienti. Da un'altra parte queste idee si affacciavano in un tempo di grandi scoperte e di grandi riforme; tutti gli animi erano in moto e come se trascinati dall'allettamento della novità.

Non si tardò a riconoscere una notabile analogia tra il fluido galvanico ed il fluido elettrico: ciò fu perchè non si ottiene giammai commozioni nelle ranocchie, quando si stabilisce la comunicazione tra i nervi ed i muscoli per mezzo de'corpi cattivi conduttori dell'elettricismo. Nel tempo medesimo il fenomeno prese una vasta estensione, dappoichè si scoprì che si appalesava nella maggior parte dei corpi viventi. Spesso ancora non è necessario di scorticare nè i muscoli, nè i nervi per ottenere un distintissimo effetto. Sicchè un pezzo di rame essendo posto sulla lingua ed un pezzo di ferro al di sotto, ei si prova una contrazione ed un sapore acido o alcalino nell'istante, in cui i due pezzi si toccano; e si trovano anche persone abbastanza sensibili per iscorgere allora una luce, che passa dinanzi dagli occhi.

Ogn'ipotesi è buona, quando fa fare delle scoverte, e l'ipotesi del Galvani ebbe il suo tempo di successo: ma per renderla feconda bisognava ammettere vaghe considerazioni, dati incerti; bisognava gittarsi in quistioni complicate sulle funzioni vitali e su' misteri dell'organismo. Tali quistioni incessantemente agitate fra gli uomini e non mai solubili cominciavano a riprendere voga; i migliori ingegni vi si lasciavano trasportare; nè si sa quante false vie avrebbero aperte allo spirito umano, se un uomo di mente ardita non avesse posto un termine a tutti questi vani tentativi. E questi fu il Volta. Già rinomato per molte ingegnose scoverte sull'elettricismo il Volta professore a Pavia ripeteva con una smaniosa attenzione tutte l'esperienze di Galvani e de' suoi discepoli: pieno di entusiasmo pe' fatti egli non dava che un acconsentimento condizionale alle

ipotesi; egli colpì finalmente con una sagacità ammirabile una condizion del fenomeno, la cui importanza era fino allora sfuggita a' più diligenti osservatori. Quando l'arco conduttore, che stabilisce la comunicazione tra i muscoli e i nervi, è di un metallo solo, la contrazione è sempre poco sensibile: al contrario la è sempre viva e forte, quando l' arco conduttore si compone di due metalli. La figura 335 ne rappresenta l'esperienza, la parte *z* dell'arco è di zinco e l'altra *c* è di rame; è mestieri che i metalli siano netti e ben puliti nel punto in cui essi toccano la ranocchia, e più di tutto nel punto che si toccano fra di loro. Stabilita questa condizione il Volta ne trae la seguente illazione: Vero è, dice, che ci ha fluido in moto in cosiffatta esperienza; ma la ranocchia non è mica una bottiglia di Leida; il fluido che l' agita non stà nei suoi muscoli nè nei suoi nervi, ma sì ne' metalli; pel contatto loro si sviluppa, nè altra cosa è che fluido elettrico ordinario. Un' idea tanto contraria a tuttociò che allora si conosceva delle proprietà elettriche e della conduttibilità dei metalli, non poteva essere ammessa senza opposizione; è vero che l'ipotesi del Galvani aveva perduto vigore; essa non più produceva fatti novelli, ma aveva il vantaggio di spiegare tutti i fatti noti e di stabilire fra di essi un seducente legame. Le opinioni furono divise. A che mai, dicevano i partigiani del Galvani, servono i due metalli, se non a stabilire una comunicazione più compiuta tra i muscoli ed i nervi, ed a dare uno scolo più libero al fluido? A chè mai, rispondevano i partigiani del Volta, potevano essi servire, se non eravi a stabilire che una comunicazione sola; forse non era un metallo solo bastante? E dall'una parte e dall' altra tentavano novelle esperienze, tanto forse per sostenere l'opinione adottata, che per sottoporla alla prova: dappoichè anche nelle discussioni scientifiche avvi una specie di prematuro convincimento; dal quale troppo spesso si fa l' uom trasportare. Galvani senza negar l' efficacia dei due metalli, tentava dimostrare che uno solo eccita contrazioni: e col fatto una ranocchia preparata e messa in un bagno di mercurio prova delle palpitazioni sensibilissime: e ne prova del pari quan-

do si toccano ad un tempo i muscoli ed i nervi con del piombo purissimo, o con un altro metallo, nel quale l'analisi chimica niente di straniero non scopre. Il Volta lungi dal contrastare siffatti fenomeni egli medesimo li annunziava e ne traeva argomenti in sostegno della sua opinione. Non si può negare che un metallo solo opera; ma stropicciatane l'estremità sù di un altro metallo, esso opererà ancora con molto più energia. Le particelle impercettibili, che vi si attaccano, gli danno una eterrogeneità sufficiente, e pel contatto del metallo e di queste particelle straniere si sviluppa l'elettricismo. Quello che per analisi chimica è omogeneo non lo è punto assolutamente; e d'altra parte, se l'arte o la natura ci potessero fornire un metallo di una purezza perfetta, questo metallo ancora opererebbe; non appena esso tocca i muscoli o i nervi già evvi eterrogeneità nei punti di contatto, e quindi dell'elettricismo prodotto. Da ultimo le sostanze dei muscoli e dei nervi sono tra loro differentissime per produrre elettricismo quando si toccano; e di fatto ripiegando i muscoli crurali sui nervi lombali, sensibili palpitazioni si ottengono soprattutto se la ranocchia è viva viva ed apparecchiata con grande prestezza.

219. *Prove dirette dello sviluppo di elettricismo per lo contatto.* — L'idea dello sviluppo di elettricismo nel contatto dei corpi eterrogenei lentamente si accreditava, la severità delle teoriche fisiche reclamava ancora delle prove più dirette e più decisive, nè il Volta stette gran tempo a produrle. Un apparecchio da essolui pochi anni prima inventato glie ne fornì i mezzi: ed è il condensatore da noi precedentemente descritto e rappresentato (*fig. 320*).

L'esperienza si fà nel seguente modo: dopo essersi accertato che il condensatore custodisce bene il fluido che gli si dà, e dopo averlo rimesso nello stato naturale, con le dita bagnate si stabilisce una comunicazione tra il suo piatto superiore ed il suolo; nel tempo stesso una piastra di zinco comunicante parimente col suolo è posta in contatto col piatto inferiore; un attimo solo basta, si rompono le comunicazioni, si toglie il disco superiore, o si osserva

una sensibile divergenza nelle lamine d'oro. D'onde questa elettricità? È manifesto che non ha potuto svilupparsi, che nel contatto del rame con la lamina di zinco; ivi è dove una particolar forza ha esercitato la sua azione per separare i fluidi naturali e metterli in moto: il fluido vitreo che essa ha fatto passare sul zinco se ne è scorso nel suolo; il fluido resinoso che ha respinto sul rame del piatto inferiore vi si è accumulato per dissimulazione, operando sui fluidi naturali del piatto superiore; e tolto via questo piatto tutta l'elettricità resinosa nel piatto inferiore dissimulata liberamente si spande, passa nelle lamine, e produce la divergenza che vi si osserva.

Sostituendo alla lamina di zinco una lamine dello stesso metallo del piatto, nessun effetto ne segue. Ma tutti gli altri metalli producono una divergenza nelle lamine: il piombo, lo stagno, il ferro, il bismuto, e l'antimonio acquistano come il zinco l'elettricismo vitreo e danno una carica resinosa al piatto: mentre l'oro l'argento, il palladio, ed il platino producono un effetto contrario; essi acquistano una carica resinosa, e danno al rame del piatto una carica vitrea. Queste sperienze sono decisive, ma non danno ancora quella idea perfetta, che deesi avere, della forza che sviluppa l'elettricismo, potendosi immaginare che essa opera soltanto nel momento del contatto, e che forse procede dallo strofinio o dalla pressione, che allora si esercita fra le superficie metalliche. Per torre di mezzo tutti i dubbi riguardo a ciò, venne al Volta l'ingegnosa idea di fare una *piastra doppia* (*fig. 336*), le cui due metà l'una di zinco, e l'altra di rame si trovano saldate nella congiunzione ss'. Ora prendendo con la mano il zinco di questa piastra, e toccando col rame suo il piatto inferiore del condensatore, mentre il superiore comunica col suolo ci si ha nelle lamine la divergenza medesima, che se il zinco avesse toccato immediatamente il rame del piatto. Adunque nella piastra doppia dopo annate di contatto la forza opera ancora tra il zinco ed il rame come se questi due metalli si fossero allor allora toccati.

220. *Della forza elettromotrice.* — Questa forza novella, che si esercita tra le sostanze eterogenee, *forza*

elettromotrice vien detta; essa nasce dal contatto, risiede nella superficie di congiunzione, e colà essa opera per decomporre l'elettricità naturale, separando senza posa i due fluidi, facendo passare il vitreo sull'uno dei corpi ed il resinoso sull'altro. In tal modo essendo la piastra doppia (*fig. 336*) isolata è impossibile che sia mai nello stato naturale.

Ecco i principali caratteri di questa forza:

Essa produce la decomposizione dei fluidi naturali, e la ricomposizion loro impedisce: pel primo effetto il fluido vitreo è spinto sul zinco, e si sperde sù tutta la sua estensione in virtù della sua propria ripulsione, mentre il fluido resinoso è parimente spinto e disperso sul rame, pel secondo effetto questi due fluidi contrari sono mantenuti in cospetto, a diritta l'uno, l'altro a sinistra della superficie di contatto, senza poter vincere questa superficie, e ricomporsi in virtù della loro scambievole attrazione. Per avere un'idea più precisa di tal resistenza, si può concepire un momento che nel contatto non ci abbia decomposizione, e che diasi artificialmente un pò di fluido vitreo al zinco; allora questo fluido non passerebbe affatto sul rame, la forza elettromotrice sarebbe come un ostacolo bastante a fermarlo.

Ma, come ostacolo alla ricomposizione, la forza elettromotrice ha un limite, cioè la non è bastante di arrestare qualsivogliano cariche di fluido vitreo sul zinco o di fluido resinoso sul rame. Appena che queste cariche naturalmente acquistate pel contatto o date artificialmente, prendono una cotal tensione, esse possono vincere la superficie di congiunzione per ispandersi in largo o per ricombinarsi; ma la forza elettromotrice arresta in tal caso quanto essa può. Ammettasi che rappresentando in generale con $+t$ la tensione del fluido vitreo, che si trova sul zinco, e con $-t'$ la tensione del fluido resinoso, che si trova sul rame, la differenza $t-t'$ delle due tensioni è una quantità costante, quali si siano le cariche del fluido vitreo o resinoso. Se il rame fosse caricato di vitreo come il zinco, allora la tensione verrebbe rappresentata con $+t'$, e la differenza $t-t'$ sarebbe ancora la stessa. Ed è questa diffe-

renza delle due tensioni, che dicesi *tensione maximum*, dappoichè lá è in fatto il massimo di ciò che la forza elettromotrice può arrestare e ritenere per impedire l'equilibrio ordinario.

Come causa di decomposizione, la forza elettromotrice è istantanea e permanente: permanente poichè è sempre pronta ad operare tosto che la tensione non è come deve per l'equilibrio galvanico; ed istantanea, poichè non gli bisogna che un attimo inapprezzabile per condurre questa tensione al suo maximum. Ben si conosce che siffatta tensione è debolissima, dappoichè una lamina di zinco non carica il condensatore quando è isolata, mentre lo carica in un istante quando col suolo comunica.

Le tensioni elettriche sviluppate e ritenute dalla forza elettromotrice non sono nel contatto di tutti i corpi le stesse. Buoni *elettromotori* sono i metalli, quantunque fra di essi si osservino differenze notabilissime; e generalmente si dice che le altre sostanze non sono mica elettromotrici dappoichè esse col fatto per mezzo del condensatore non producono altro, che insensibili risultamenti: ma, quando con più dilicati istrumenti si provano, si ravvisa che sviluppano anche l'elettricismo per contatto; se non che le tensioni che esse producono sono senza paragone più deboli di quelle dei metalli.

In tal guisa la forza elettromotrice scoverta dal Volta è una forza universale, che si esercita nel contatto di tutte le molecole delle sostanze eterogenee, che decompone incessantemente i fluidi elettrici, e dà origine a forze novelle, i cui effetti si fanno sentire alla materia ponderabile. Or gli elementi che compongono la terra o nella sua superficie o nelle diverse profondità, sono mischiati e confusi in modo che da per tutto avvi eterogeneità fra le particelle che si toccano: quante sostanze diverse sono poste in contatto nei più piccioli degli esseri organizzati e quante reazioni elettriche vi si debbano sviluppare! La terra vegetale, le pietre, le rocce, le lave, gli strati geologici, che altro sono fuorchè un aggregamento di princìpi diversi, tra i quali la forza elettromotrice debbe ancora operare con più o meno

intensità? Con uno sguardo solo si scorge quanto di fecondo ci ha in tale scoverta, e noi vedremo che i primi osservatori non si sono nelle loro speranze ingannati; quando hanno creduto che i principi del galvanismo diventerebbero la chiave di una quantità di fenomeni.

CAPITOLO II.

Della pila di Volta.

221. *Principi sui quali è riposta la struttura della pila*. — La pila si costruisce con tre corpi diversi: due sono metallici e buoni elettromotori, ed il terzo è non metallico, buon conduttore, e molto debolmente elettromotore.

I metalli, che con più vantaggio si adoperano, sono il zinco ed il rame: forma il primo gli *elementi positivi* della pila, il secondo gli *elementi negativi*: due elementi riuniti o saldati insieme l'uno positivo e negativo l'altro compongono quel che si dice un *paio* o una *coppia*.

Il corpo non metallico è quello chiamato il *conduttore*: ora è una *rotella umida* cioè una rotella di drappo o di cartone imbevuta di acqua pura o di qualche soluzione acida, alcalina o salina; ora è la soluzione essa medesima; altre fiate è un corpo secco, ed allora la pila è quella che si dice una *pila secca*.

Immaginiamo una piastra di rame o un elemento negativo comunicante col suolo per mezzo del filo conduttore non metallico rappresentato da *f* (*fig. 337*); sulla sua superficie superiore poniamo una piastra di zinco della dimensione medesima: nel momento del contatto la forza elettromotrice esercita l'azione sua; il fluido resinoso, che sviluppa, passa sul rame e scorre nel suolo; il fluido vitreo al contrario passa sul zinco e vi si accumula insino a che abbia acquistato la tensione maximum, che la forza elettromotrice è di ritenere capace, non fa per questo mestieri che un'istante inapprezzabile; questa tensione o piuttosto la doppiezza elettrica, che la produce, essendo presa per unità, noi diremo che il rame è nello stato naturale, mentre il zinco è coverto di una doppiezza 1 di elettricismo vitreo. Se noi con qualche mezzo torremo al zin-

co una parte del fluido che lo ricopre, non avrebbe più la doppiezza 1 che deve avere: la forza elettromotrice la riprodurrebbe all'istante con un novello sviluppo, che riparerebbe la perdita esattamente, e con un eguale sviluppo di resinoso che scorrerebbe nel suolo. Ad ogni porzione di fluido che si andrebbe a togliere in questo modo al zinco, una celere riparazione seguirebbe per riprodurre incessantemente la doppiezza 1, ch'è lo stato dell'equilibrio galvanico; e se per esempio si stabilisse la comunicazione del zinco col suolo per mezzo di un filo *non metallico*, il suo fluido vitreo incessantemente scorrerebbe, e sarebbe incessantemente riparato; nel tempo stesso il fluido resinoso sviluppato sul rame anche scorrerebbe: talmente che se si accostassero l'uno all'altro i due fili non metallici, che toccano il zinco ed il rame, i fluidi si ricomporrebbero nel punto loro di contatto, ed avrebbesi *una circolazione* elettrica continua: i fluidi sarebbero separati nel contatto de' metalli, e ricomposti nel contatto de' fili conduttori non elettromotori, che comunicano con essi.

Ciò posto facciamo che il rame solo comunichi col suolo, e mettiamo sul zinco una rotella umida: chiaro è che essa parteciperà dell'elettrecismo vitreo del zinco, ma che essendo la perdita riparata all'istante la doppiezza sarà 1 sulla rotella e sul zinco come era dapprima. Lo stesso ancora accadrà se noi mettiamo una piastra di rame sulla rotella umida, dappoichè tra questi corpi non ci ha forza elettromotrice.

Ma se noi collochiamo una seconda piastra di zinco sù questa seconda piastra di rame, il fenomeno sarà più complicato, ed è qui dove si mostra il verace principio del cumulamento dell'elettricità nella pila. Supponiamo un momento che l'azione della forza elettromotrice sia sospesa in questa seconda coppia: in tal caso è evidente che il zinco acquisterebbe una doppiezza 1 di fluido vitreo, come hanno fatto la rotella umida e la piastra di rame, ed, appena la forza elettromotrice opererà, essa doppiezza diverrà uguale a 2 su questo secondo zinco, dappoichè la dee sempre eccedere di 1 quella del rame, col quale è in

contatto; nel tempo medesimo il fluido resinoso, che sarà sviluppato sul rame, verrà distrutto dal fluido vitreo che vi si trova, ed accadrà nella prima coppia uno sviluppo novello in forza del quale il 1° zinco sarà ricondotto ad una doppiezza 1, del pari che la rotella umida ed il 2° rame. Per mezzo di questa disposizione il 2° zinco dee dunque avere per suo equilibrio una spessezza di fluido vitreo doppia di quella che si trova sul primo.

Si vede bene che con lo stesso principio la 2ª rotella umida ed il 3° rame avranno la spessezza medesima 2, mentre il 3° zinco avrà una spessezza 3, il 4° zinco una spessezza 4, il 5° una spessezza 5, ecc...; il 10° una spessezza 10....; il 100° una spessezza 100....... ; ed il 1000° una spessezza 1000.

Sicchè niente non limita la spessezza elettrica che si può accumulare in cima di una simile pila, dappoichè niente non limita il numero degli elementi che si possono sovrapporre; ed essendo il 1° zinco, siccome abbiamo veduto, una sorgente instancabile di elettricismo vitreo la cui spessezza è 1, il 1000° zinco è una sorgente instancabile la cui spessezza trovasi uguale a 1000. Questa è l'invenzione ammirabile, per mezzo della quale il Volta è giunto a sviluppare ed accumulare una spessezza elettrica senza fine crescente senza stropiccio nè pressione, e con la sola potenza del contatto di certi corpi disposti in un ordine determinato. La pila testè costrutta è detta *pila a colonna*; noi continueremo a servircene per dimostrare molte proprietà rimarchevoli, che sono comuni a tutte le pile delle quali vedremo la struttura più in là.

222. *Della pila isolata*. — L'estremità della pila che termina in una piastra di zinco chiamasi *l'estremo zinco*, *l'estremo positivo* o *il polo positivo*, quella che termina col rame *l'estremo rame*, *l'estremo negativo*, o *il polo negativo*. Nella disposizione, di cui abbiamo parlato, il polo negativo comunicava col suolo, il positivo era isolato, e su tutta la pila ci era fluido vitreo, la cui spessezza agiva crescendo dal 1° zinco dove era 1 insino al 100° zinco dove era 100, supponendo che la pila avesse 100 coppie. Concepiamo un'altra pila affatto simile con

una sola differenza che il polo positivo comunica col suolo, mentre il negativo rimane isolato: è manifesto che da per tutto ci sarà fluido resinoso, la cui spessezza andrà crescendo dal 1° rame (quello cioè che tocca il zinco comunicante col suolo) dove sarà 1, insino al 100° rame dove sarà 100. E se ora noi mettiamo capo a capo queste due pile, interponendo solo una rotella umida tra i due poli comunicanti col suolo, noi non avremo che una sola pila di 200 coppie, ciascuna metà della quale conserverà l'equilibrio elettrico che aveva prima: in tal modo il mezzo sarà nello stato naturale, anche dopo soppressi i fili di comunicazione; di qui cominciando da un lato si avrà elettricismo vitreo, resinoso dall'altro; le quali elettricità non potranno mai ricongiungersi, e le spessezze loro sempre crescenti con differenze uguali per ogni coppia, 100 ad ogni polo saranno. Se dopo quest'equilibrio si va a turbare prendendo elettricismo all'uno dei poli, il *zero* o il punto che è nello stato naturale si rimoverà di sito un istante; il polo toccato avrà una spessezza minore di 100, e l'altro una spessezza maggiore; ma incontanente la perdita per l'aria scemando più celeremente la spessezza elettrica del polo più forte il zero ritornerà nel mezzo e sarà l'equilibrio ristabilito. Adunque in ogni pila isolata la disposizione diffinitiva dell'elettricismo è tale che il mezzo è nello stato naturale, mentre le due metà sono caricate di fluidi contrari, aumentando di 1 la spessezza di questi fluidi col passare da una coppia a quella che segue. Siffatti risultamenti possono essere di leggieri verificati dall'esperienza per mezzo di un condensatore a taffettà e di un elettroscopio a palla di sughero.

223. *Della pila in attività.* — I poli della pila isolata essendo sorgenti *indefinite* di elettricità contrarie, ben si vede che, mettendo ciascuno di essi in comunicazione con un filo metallico, il filo parteciperà del fluido del polo che il tocca; e si avranno in tal modo due conduttori, l'uno positivo, negativo l'altro, i quali posti a rincontro, dovranno dare una ricomposizione *continua*. Gli è quanto di fatto rappresenta la figura 338: i due fili (così ancora chiamandosi qualche volta *i due poli* della pila) essendo ac-

costati ad una piccola distanza, si vede scattare una scintilla, un'altra la segue dappresso, poi un' altra, e così di seguito: è una corrente di continuo fuoco, è una batteria inestinguibile che si scarica sempre senza essere mai scaricata.

Quando i fili conduttori si mettono in immediato contatto, e si chiude in tal modo il circuito della pila, le scintille spariscono, ma non tutti gli effetti elettrici sono distrutti: i fluidi si sviluppano ancora in tutte le coppie, fra tutti gli elementi, nè cessano di andare a ricomporsi in tutt' i punti dei fili conduttori, che ricongiungono i due poli della pila. Così tutto pare immobile al di fuori, ed al di dentro tutto è in attività ed in moto. Una delle più eminenti prove di questa rapida circolazione dell' elettricismo è il fenomeno, che presenta un filo metallico sottilissimo interposto fra i conduttori per chiudere il circuito: se questo filo è un pò lungo, diventa subito caldo, alquanto più corto diventa rosso, e più corto ancora diventa rosso-bianco; allora secondo la natura del metallo entra in fusione e cade in gocce, brucia con iscoppio, o inalterabil rimane persistendo in questo stato d'incandescenza per tutto il tempo che la pila è in attività.

L' acqua, gli acidi, gli ossidi, i sali, e tutt' i corpi, anche poco conduttori, provano effetti notabili quando pongonsi nella *corrente* della pila, cioè quando si dispongono tra i poli in modo, che essi formino una parte del circuito, e la loro sostanza sia dai contrari fluidi attraversata, siccome i fili metallici delle precedenti sperienze: ma prima di studiar questi effetti importa acquistare un' idea di ciò che costituisce la forza della pila.

224. *Della forza della pila.* — Bisogna distinguere nella pila la *forza fisica* e la *forza chimica*. La prima dipende dalla quantità di elettricismo che la pila può dare in un istante, e la seconda dalla tensione onde questo elettricismo scorre da un polo all' altro.

La quantità di elettricismo, che una pila può dare ad ogni istante, è proporzionale alla grandezza degli elementi, quando tutte le altre circostanze sono le stesse. Di fatti immaginiamo due pile del tutto simili e perciò che danno

la medesima quantità di elettricismo, ben si vede che disponendole a fianco l'una dell'altra, e riunendo parallelamente i fili che congiungono i loro poli, farà in questi fili passaggio due volte più elettricismo, che in uno solo. Sicchè i due apparecchi non ne faranno che uno, avente gli elementi doppi in superficie e che dà una quantità di elettricità doppia. Aumentando indefinitamente la grandezza degli elementi senza cangiarne il numero, si può adunque aumentare indefinitamente la quantità di elettricismo dato dalla pila senza mutarne la tensione.

La quantità di elettricismo aumenta ancora, siccome il conduttore umido più perfetto addiventa, ma diminuisce quando la sua spessezza cresce, conciosiacchè l'elettricismo soffre più resistenza a passare da un elemento al seguente.

La tensione della pila, che è come si è detto proporzionale al numero degli elementi, quando l'equilibrio elettrico è stabilito, non può mancare di avere un'influenza sulla natura della corrente che si sviluppa, subitochè i due poli sono posti in comunicazione, dappoichè la corrente non è altro che la tendenza all'equilibrio. Sicchè quando il conduttore umido è abbastanza perfetto le pile, che hanno un gran numero di elementi e quindi una gran tensione allo stato di equilibrio, hanno ancora una tensione grande allo stato di moto, cioè che le correnti da esse prodotte possono vincere resistenze sempre più grandi a misura che il numero degli elementi cresce.

Noi vedremo che la corrente può produrre *effetti fisici*, *effetti fisiologici*, ed *effetti chimici*: gli effetti fisici non procedono da altro che dalla quantità di elettricismo, mentre i chimici ed i fisiologici dalla tensione essenzialmente dipendono. Adunque una pila può essere fisicamente *fortissima*, e *debolissima* chimicamente, e *vice versa*.

225. *Diverse disposizioni della pila.* — La *pila a colonna*, della quale abbiamo fatto parola finora, offre grandi inconvenienti nella pratica: le rotelle inferiori compresse dal peso dei superiori elementi, si disseccano prontamente, ed il liquido che se ne cola scorrendo sulla super-

ficie della pila stabilisce fra le coppie parziali comunicazioni, che diminuiscono altrettanto l'effetto totale.

La *pila a trogoli* è stata lungo tempo in uso; essa è rappresentata nelle figure 339 e 340. Gli elementi son rettangolari e saldati l'uno sul l'altro per formare una coppia: tutte le coppie sono disposte in fila e parallelamente in una cassa di legno *b b'*, le cui pareti interne sono rivestite di un mastice non conduttore; l'intervallo delle due coppie forma un picciolo trogolo, in cui si pone l'acqua acidulata: ed è questa lamina di acqua due o tre linee doppia, che prende il luogo della rotella umida della pila a colonna; ma si vuole avere gran cura che i trogoli successivi non abbiano veruna comunicazione fra di essi, nè per gli orli nè pel taglio superiore delle cóppie. Unendo insieme molte pile simili a quella della figura si compone una *batteria galvanica* o *voltaica*. La riunione può esser fatta in due modi; avendo per esempio le pile cento coppie di ciascuno 1 decimetro quadrato: se due se ne uniscono, facendo comunicare insieme i due poli negativi non che i due positivi, avrassi una batteria di *cento* coppie, avente ognuna *due* decimetri quadrati; ed è la forza fisica che verrà raddoppiata: se per l'opposito si riuniscono facendo comunicare il polo positivo della prima col negativo della seconda, si avrà una batteria di *dugento* coppie avente ognuna 1 decimetro quadrato; ed è la forza di tensione o la forza chimica che sarà raddoppiata.

La *pila di Wollaston* è rappresentata nelle figure 341, 342, 346, 347, e 348. Per indicarne la struttura meglio noi disamineremo solamente due coppie rappresentate in sezione (*fig. 341*), e di prospetto (*fig. 342*): *c s* è il primo rame, ed *s z* il primo zinco veduto nella sua doppiezza; essi sono saldati in *s*; *c' s'* è il secondo rame, ed *s' z'* il secondo zinco; *v* e *v'* sono due vasi ripieni di acqua acidulata: l'elettricismo vitreo passa dal primo zinco al secondo rame per mezzo dello strato di acqua che li separa; passa eziandio dal secondo zinco al terzo rame, e così di seguito. Questa disposizione offre soprattutto due grandi vantaggi: primamente il fluido, ch'è sul zinco, può

escirne da tutt' i punti della superficie; in secondo luogo e' non ci ha che un sottilissimo strato liquido ad attraversare per portarsi sul rame, e questo strato, che trovasi prontamente alterato nella pila a trogolo, si può qui rinnovare mischiandosi col liquido del vaso.

Una coppia sola di questa specie avente solo alcuni pollici quadrati di superficie è bastante di produrre fenomeni maravigliosi: bene può per esempio far arrossire un filo di platino. L'esperienza vien rappresentata nella fig. 344: *c s* è il rame, *s z* il zinco; l' inviluppo *c' c' c'* non serve ad altro che a favorire la conduttibilità; un piccolo filo di platino è teso da *p* fino *p'*, e quando questa coppia s' immerge pel manico *m*, in un vaso di acqua fortemente acidulata, il filo di platino diventa rosso all' istante pel solo effetto della corrente, che lo attraversa.

Con una pila di una ventina di coppie, disposta come quella delle figure 346, 347, 348 possono quasi tutte farsi l'esperienze galvaniche. Ordinariamente si carica con acqua contenente $\frac{1}{16}$ d'acido solforico, e $\frac{1}{20}$ d' acido nitrico. (6)

La pila ad elice non è in realtà che una modificazione della pila di Wollaston, ed è soprattutto destinata a produrre quantità grandi di elettricismo senza dare grandi tensioni.

Le figure 349 e 350 rappresentano le disposizioni da me adottate per la pila della Facoltà delle Scienze. Su di un cilindro di legno *b* (*fig. 349*) del diametro di tre pollici e lungo un piede si ravvolgono due lamine, l' una di zinco e l' altra di rame, le quali sono separate da capi di striscia di drappo *l* congiunti con cordelle, la cui doppiezza è alquanto di quella della striscia minore. In tal guisa si formano delle coppie, i cui due elementi hanno ognuna cinquanta o sessanta piedi quadrati di superficie; una sola di queste coppie (*fig. 350*) è capace di produrre effetti fisici molto energici, e quando si riuniscono solamente 20 coppie consimili si ha una batteria di una straordinaria potenza per riscaldare e liquefare all' istante, non fili ma veraci aste metalliche.

226. *Effetti fisiologici della pila.* — Le *commozioni* che produce l' elettricismo della pila non sono nè me-

no vive nè meno da temere di quelle delle ordinarie batterie, l'intensità loro dipende soprattutto dalle paia, e quindi dalla forza di tensione. L'epiderme è un conduttor cattivo, e con le mani asciutte si può stabilire la comunicazione tra'poli di una pila di 20 o 30 paia senza provar la minima scossa: ma con le mani bagnate o soltanto umide l'urto si riceve all'istante; la corrente, che allora si stabilisce nelle membra continua di agitarle per tanto tempo quanto dura il contatto.

Su'primi tempi del galvanismo sonosi fatte delle numerose esperienze sugli effetti terapeutici delle correnti della pila; e sopra ogni altro si è tentato guarire le Nevralgie, la Gotta, i Reumatismi, le Paralisi ecc.: le correnti si dirigevano come le scariche elettriche per mezzo di armature di metallo disposte dall'una e dall'altra parte degli organi affetti, e si aumentava a poco a poco il numero delle paia della pila per rendere le commozioni più efficaci e più vive. Dopo si è pervenuto a dare molta più precisione agli apparecchi ed a graduare la forza loro in un modo certo; nel tempo stesso si sono ottenuti effetti più sicuri, e sembra fermato oggidì che certe affezioni cedono al trattamento galvanico quando è con discernimento praticato. (7)

Ne'corpi di fresco privi della vita una corrente energica eccita tuttavia delle commozioni o de' movimenti straordinari: direbbesi che tutto l'organismo si agita e fa degli sforzi incredibili per rianimarsi: ma queste violente convulsioni cessano con la corrente, e tutto riede nell'inerzia della morte.

Nondimeno in una serie di esperienze da noi fatte co'Sig. Magendie, Andral e Rulin sull'irritabilità prodotta dalle correnti elettriche, noi abbiamo riconosciuto che degli animali asfissiati sono richiamati prontamente alla vita, quando si mettono tra'due poli della pila: spesso noi abbiamo rianimato de'conigli e porcelli d'India che erano asfissiati da più di mezz'ora.

Noi abbiamo conosciuto del pari che la corrente eccita de' movimenti peristaltici notabilissimi in molti vasi.

Il più semplice di questi fenomeni fisiologici è fuor

di dubbio la commozione: essa è prodotta dall'elettricismo ordinario del pari che da quello della pila, ed intanto niente si sa finora della sua vera cagione. Quali sono le sostanze organiche, che il fluido affetta in preferenza? Quai le modificazioni, ch'esso imprime o alle loro molecole individuali o al sistema ch'esse compongono? Gli è senza dubbio ciò che ulteriori esperienze faranno noto. Le sostanze non organiche, siccome vedremo, sono riscaldate dalla corrente, o chimicamente decomposte; ed è probabile che nè l'uno nè l'altro di questi effetti produca la commozione ne'corpi viventi.

Il Sig. Marianini ha comprovato su di ciò un fatto notabile, cioè che quando la corrente elettrica si propaga ne'nervi, *nel senso delle loro ramificazioni* essa produce una contrazione muscolare nel momento che penetra ed una sensazione nel momento che cessa: ed al contrario quando vi si propaga *in senso inverso delle ramificazioni loro*, essa produce una sensazione per tutto il tempo che rimane ed una contrazione nel momento che cessa. (*Ann. di Fis. e di Chim.*, t. 40, p. 225).

227. *Effetti fisici della pila.* — Le correnti possono produrre al pari delle scariche delle ordinarie batterie, calore luce e magnetismo.

Quando un filo metallico molto fino e corto stabilisce una comunicazione diretta tra'poli della pila, esso si riscalda, diventa rosso, rosso bianco e spesso ancora si fonde e si volatilizza.

Il ferro e l'acciaio di leggieri si liquefanno, essi bruciano allora con uno splendore abbagliante.

Le sottili sfoglie di oro sono volatilizzate, e siccome non può toccarsene un punto senza ridurlo in vapore, si stabiliscono numerose soluzioni di continuità tra le quali si vede brillare un gran numero di piccioli lampi di un color verde vivacissimo.

Quasi i fenomeni stessi presentano le sfoglie di argento.

Le sfoglie di stagno bruciano con meno splendore; esse cadono in piccioli globi rossi, che danno origine a de'ciuffi setosi ondeggianti, simili a fiocchi di tela di aragno.

Il platino in spugna, e tutt'i metalli di sfoglie esili o in limature offrono alcune rare particolarità, dipendenti dalla natura loro, dalla loro fusibilità e dall'affinità loro per l'ossigeno.

Una delle più vaghe sperienze sugli effetti di luce e di calore prodotti dalla pila, è quella dovuta al Sig. H. Davy, e della quale noi avremo ancora occasion di parlare nell'elettro-magnetismo. Essa può essere nel seguente modo disposta: in una gran campana o in un pallone del diametro di 10 a 12 pollici si adattano due scatole di cuoio opposte fra loro, per le quali si fan passare due forti aste, che possono accostarsi fino a contatto od allontanarsi a piacere; all'estremo di ogni asta si attacca un picciolo cono di carbone fortemente calcinato ed estinto nel mercurio, ma fa mestieri che il carbone tocchi il metallo con una gran superficie. Allora formasi il voto nell'apparecchio, si fanno innanzi le aste per modo che le punte dei coni si trovino ad una picciola distanza, e si stabilisce la comunicazione fra due poli di una forte pila; bentosto la corrente vince lo spazio che separa i carboni, riscalda le loro punte, e le fa sfolgoranti di luce: niente si può paragonare allo splendore che acquistano. Da questo momento possono allontanarsi gradatamente le aste; la corrente non si rimane dall'attraversare il voto che le separa, ed in tal modo si produce un fascio scintillante che tutto l'apparecchio riempie. Nè il fenomeno si manifesta meno splendidamente nell'aria rarefatta ad alcuni centimetri di pressione; ma in tal caso il carbone in parte si consuma.

228. *Effetti chimici della pila*. — Il primo ed il più notevole degli effetti chimici della pila fu discoperto al principio di questo secolo (il dì 30 Aprile 1800) dai Sig. Carlisle e Nicholson. Questi due fisici per ripetere gli esperimenti del Volta, avevano costrutta in fretta una pila a colonna con pezzi di moneta, piastre di zinco e rotelle di cartone. Dopo alcuni tentativi essendosi fatto sentire l'odore particolare dell'idrogeno Nicholson ebbe la felice idea di far passare la corrente in un tubo ripieno di acqua per mezzo di due fili metallici, che s'accostavano ad una breve

distanza. Incontanente l' idrogeno apparve in picciole bolle intorno al *filo negativo*, ed il *filo positivo* si ossidava manifestamente. In tal guisa i due elementi dell'acqua furono infine separati; dappoichè bene aveva potuto il Cavendish comporre dell'acqua con l'ossigeno e l'idrogeno, ma tutti gli sforzi al di là erano tornati impotenti a decomporla.

L'apparecchio che ora ci bisogna per la separazione degli elementi dell'acqua è rappresentato nella figura 343: esso è composto di un vetro a forma di piede, il cui fondo è attraversato da due fili di platino f, f^1 che non si debbono toccare; le campane o ed h rivolte e ripiene di liquido coprono ciascuno de' fili. Appena stabilita la comunicazione coi poli della pila, le bolle di gas si sviluppano in abbondanza; l' ossigeno puro sale sempre nella campana che ricopre il filo positivo, e l' idrogeno puro sempre in quella che ricopre il filo negativo. Chiaro è che le due campane debbono comunicare fra di esse per mezzo del liquido intermedio, non potendo la corrente attraversare il vetro.

L'acqua distillata e perfettamente pura con lentezza si decompone: ma non appena vi si pone una goccia di un qualsiasi acido, od alcuni atomi di sale, od alcune particelle di una sostanza, che accresce la sua conduttibilità, le bolle di gas si sviluppano vivamente, nè bisognano più di 2 o 3 minuti per vedere 1 centimetro cubico di ossigeno nella campana positiva; e 2 centimetri cubici d'idrogeno nella campana negativa.

Due atomi d'idrogeno all' uno de' poli ed un atomo di ossigeno all'altro, ecco un fenomeno meravigliosissimo e che ha lungamente esercitato la sagacia de' fisici; dappoichè nelle ordinarie decomposizioni gli elementi si disgiungono e non si allontano l'uno dall' altro, mentre qui ci è nello stesso tempo separazione e *trasferimento* degli elementi separabili. Innumerevoli tentativi si sono fatti per colpire la molecola di acqua, che si decompono, o per fermar nel cammino gli atomi gassosi prima che fossero giunti a' fili di metallo, donde l' elettricismo passa nel liquido; ma tutto è stato indarno. Allorchè, per esempio, si

pone l'acqua in due vasi, e si fa immergere il filo positivo nell'uno, il negativo nell'altro, e quindi si stabilisce la comunicazione tra i vasi per mezzo di un corpo conduttore, perchè la circolazione elettrica possa stabilirsi, notabili fenomeni si osservano: se il conduttore intermedio è un metallo, l'acqua sarà, come suole, decomposta, ma in ciascun vaso separatamente; se è un corpo umido, qualche volta pur come un metallo la decompone, ma più sovente la decomposizione ha luogo non si sa dove; l'ossigeno pare solo nell'uno de' vasi, nel positivo, e l'idrogeno solo nell'altro; gli è quanto accade, per esempio, quando la comunicazione si stabilisce immergendo il dito in ciascun vaso. Allora pare si abbia dritto a conchiudere che l'uno degli elementi gassosi ha dovuto attraversare il corpo per andare nel polo dove si disviluppa. Del pari quando la comunicazione si stabilisce con un pezzo di cristallo sembra necessario, che o l'uno o l'altro de' gas passi attraverso del cristallo, dappoichè ciascuno di essi non si sviluppa che nell'uno de' fili metallici.

Il Sig. Grotthuss di tali fenomeni e di tutte le altre decomposizioni chimiche, che la corrente produce, ha dato una spiegazione ch'è stata da tutt'i fisici ammessa, non solo perch'è ingegnosa, ma ancora perchè sembra del tutto conforme alla verità. Immaginiamo un filo di molecole di acqua 1, 2, 3, 4 ecc. (*fig. 351*) formante una specie di catena retta o curva, che unisce il filo positivo f al filo negativo f': l'elettricismo positivo f opererà per influenza sulla molecola 1 e la *girerà* per attirare l'ossigeno, ch'è *elettro-negativo*, e per respingere l'idrogeno, ch'è *elettro-positivo*; la molecola 1 opererà del pari sulla molecola 2, e così di seguito: all'altro estremo della catena la disposizione medesima si produrrà, ed appena la tensione elettrica sarà forte abbastanza, l'ossigeno della molecola 1, trascinato dall'attrazione verrà come strappato dalle molecole d'idrogeno, alle quali è unito e verrassene al polo, mentre l'idrogeno divenuto libero si porterà sull'ossigeno della molecola 2 per combinarsi con esso, dando all'idrogeno di questa molecola la libertà, il quale se n'andrà a sua volta a prendere l'ossigeno della mole-

cola 3, e così di seguito. Nell' altro polo si producono fenomeni analoghi in senso inverso, e vi avrà nel medesimo istante un gran numero di decomposizioni e ricomposizioni successive. Ciò che segue in una quantità di molecole, segue in tutte le file che uniscono i due poli; e di qui la moltitudine degli atomi gassosi divenuti liberi e l' abbondanza delle bolle distinte che si formano e si sviluppano.

Questi movimenti di vibrazione degli ultimi elementi della materia possono compiersi per mezzo delle masse solide, siccome per mezzo delle fluide: e certamente se, come tutto sembra indicarlo, la spiegazione del Sig. Grotthuss è vera per la decomposizione de' liquidi, la non può mancare di esserlo per quella de' solidi e di tutti gli altri corpi, su' quali la corrente elettrica può avere qualche appicco.

Gli ossidi sono dalla pila ridotti e come l' acqua decomposti; l' ossigeno comparisce nel polo positivo, ed il metallo o la base nel negativo. Per quelli che sono agevolmente riducibili, per esempio, per l' ossido di argento, può l' esperienza disporsi del modo seguente: su di una lamina di platino comunicante col polo positivo si mette dell' ossido secco in polvere, che si va dopo a toccare col filo negativo: o che il contatto sia permanente, o che sia accidentale e rinnovato di tratto in tratto, si vedrà incontanente comparire un piccolo nodo di argento all' estremo del filo: nel secondo caso la polvere dell' ossido è attraversata da vive scintille di un bel colore verde. Gli ossidi meno riducibili debbono essere lievemente bagnati di acqua, soprattutto quando sono in polvere. In verità quest' acqua in parte si decompone; ma essa favorisce la conduttibilità e dopo un dato tempo, secondo la forza della pila, si scorgono dei globettini o delle piccole particelle di metallo intorno al filo negativo.

Erasi lungo tempo supposto che gli alcali, come la soda, la potassa, fossero dei corpi del tutto indecomponibili; ma il Sig. H. Davy potette nel 1807 per mezzo di una potente batteria dividerne gli elementi. È questa scoverta fu epoca grande per la scienza. Gli alcali e le terre vennero ricondotte nella classe ordinaria degli ossidi, e la chi-

mica ebbe a sè due corpi metallici nuovi, il sodio ed il potassio, che sono due degli agenti più energici da lei posseduti. Quando si tenta la decomposizione della potassa coi metodi da noi poco fa indicati per gli altri ossidi, incontanente si scorge che compariscono nel polo negativo numerosi globetti, e nell' aria s' infiammano producendo raggi di luce. È il potassio che risulta dalla decomposizione della potassa; l' affinità sua per l' ossigeno è tanto grande, che esso brucia nell'acqua con più splendore ancora che non nell'aria: nè si può conservarlo che nell'olio rettificato di nafta o di petrolio; i cui elementi costitutivi sono l'idrogeno ed il carbonio. Il D. Seebeck (*fig. 352*) ha dato il mezzo di raccogliere con più sicurezza il potassio nel polo della pila; egli ha immaginato di formare una piccola capsula col frammento di potassa caustica, che si vuol decomporre; la quale ripiena di mercurio è posta su di una lamina di platino comunicante col polo positivo della pila: (*fig. 352*): allora toccando il mercurio col polo negativo la decomposizione si opera; l'ossigeno si conduce sul platino e si sviluppa mentre il potassio giunge nel mercurio e forma con esso un'amalgama assai tenace. In seguito con la distillazione nel vapore del petrolio si separa il mercurio, e si ottiene il potassio nello stato di purità.

La calce, il barite e le altre terre allo stesso modo trattate o sole o mischiate con la soda o la potassa, non dubbiose prove hanno dato della loro decomposizione.

Gli acidi si decompongono come gli ossidi, e l' ossigeno loro resiste tuttavia ad andare al polo positivo mentre la base và al negativo.

Da ultimo tutti i sali sono altresì decomposti dalla pila; ma essi presentano fenomeni più svariati.

1.° Quando l' acido e la base sono difficilmente decomponibili, questi due elementi sono separati soltanto; e l' acido come partecipante di vantaggio delle proprietà dell'ossigeno, và sempre al polo positivo, mentre la base và al negativo;

2.° Quando l' acido è di leggieri decomponibile non solamente è separato dall' ossido, ma è decomposto esso medesimo o almeno disossigenato; e l' ossigeno che per-

de, va al polo positivo, mentre il radicale se ne và coll'ossido al polo negativo;

3.° Quando l'ossido è agevolmente decomponibile, sarà esso stesso ridotto; il suo metallo puro va al polo negativo, mentre l'ossigeno và al positivo, dove si combina con l'acido, quando questo è capace di ricevere un nuovo grado di ossidazione;

4.° Compiuta è la decomposizione se l'acido e l'ossido possono perdere entrambi di leggieri l'ossigeno loro: tutto quanto l'ossigeno va al polo positivo, ed il metallo dell'ossido va al polo negativo insieme col radicale dell'acido.

Questi diversi fenomeni possono prodursi con dei sali semplicemente umettati o con delle dissoluzioni saline più o meno allungate; l'acqua sopratutto in questo ultimo caso è abbondevolmente decomposta.

In un sale, il cui acido non è l'acido fluorico, e la cui base non è l'una delle terre o l'uno degli alcali che malagevolmente si decompongono, ei si può ottenere ad arbitrio, o la semplice separazione dell'acido e dell'ossido, o la riduzione dell'uno e dell'altro. Al che basta impiegare una debolissima, ovvero una potentissima pila; e siccome una pila può indebolirsi sforzando la corrente ad attraversare un lungo spazio cattivo conduttore, e' si vede che la sola distanza dei fili potrà l'uno o l'altro dei fenomeni determinare. Per una distanza picciola tra il filo positivo ed il negativo, avendo la corrente tutta la sua energia, l'acido sarà decomposto e ridotto l'ossido; per una distanza alquanto più grande, l'acido per esempio non sarà decomposto; e per una distanza ancora più grande, l'ossido stesso cesserà di essere ridotto; nè ci avrà più di una semplice separazione degli elementi del sale.

I colori vegetali che cangiano in virtù dell'azione degli acidi e degli ossidi sono acconcissimi a mostrare agli occhi questa potenza decomponente della pila. Se prendesi per esempio in un tubo incurvato a forma di V (*fig. 345*) una dissoluzione di tintura di girasole, di cavolo rosso o di piccoli ravani violetti, e vi si fa passare la corrente per mezzo di due fili di platino *a* e *b*, dopo alcuni mo-

menti si scorge un bel color rosso di vino pallido nella branca positiva, ed un color verde nella negativa. Adunque il sale, che costituisce il colore vegetale, è decomposto; il suo ossido, recandosi al polo negativo, fa volgere al verde tutto il liquido vicino, e l'acido suo al contrario fa passare al rosso il liquido che tocca il filo positivo. Stabilendo la comunicazione in senso inverso, i colori prodotti si veggono a poco a poco sparire; le due branche riprendono per un istante lo stato naturale, ed un momento dopo si colorano in senso contrario.

Il Sig. H. Davy ha tratto profitto dalle circostanze notevoli, che accompagnano la decomposizione dei sali per istudiare più particolarmente il fenomeno stupendo del trasferimento. Ci rincresce di non poter quì dare che un sunto ristrettissimo delle sue importanti ricerche.

1° Un vaso contenente una dissoluzione salina ed un altro contenente acqua distillata comunicano fra di loro per mezzo di filamenti umidi di amianto. Il filo positivo della pila mette capo nel primo, il negativo nell'altro, e la decomposizione ha luogo; se l'ossido non è ridotto esso cammina sull'amianto, attraversa l'acqua, e va a condursi al polo negativo; ma se è ridotto, allora è il metallo che percorre questo tragitto. Per esempio, col nitrato di argento tutt'i filamenti setosi dell'amianto si coprono di un gran numero di piccole particelle di argento ripristinato. Stabilendo la comunicazione in senso inverso, l'acido è quello, che percorre l'amianto per andare ad acidulare l'acqua, che allora trovasi al polo positivo.

2° La dissoluzione salina essendo posta fra due vasi di acqua pura e comunicando con ciascuno di essi per mezzo dell'amianto, ei ci avrà ancora decomposizione e trasferimento, dacchè i due fili della pila mettono capo l'uno nel primo vaso di acqua, e nel secondo l'altro. L'acido è pur trasportato al polo positivo ed al negativo l'ossido;

3° Tre vasi sono come nella precedente esperienza disposti: il primo contiene acqua pura, il terzo una dissoluzione salina, e quello di mezzo una tintura vegetale di girasole, o di sciroppo di viola. Il sale è anche decomposto dalla corrente, e nel vaso di acqua pura si trova l'acido

o l'ossido, secondo che la comunicazione si stabilisce nell'uno o nell'altro senso. Ma in ogni caso, ed è un fenomeno osservabilissimo, la tintura vegetale non prova alterazione; essa non è fatta rossa dall'acido, nè fatta verde dall'ossido; e nondimeno essa di certo è attraversata dall'uno o dall'altro. Sicchè gli elementi chimici sembra perdano almeno in parte le forze loro di affinità, mentre stanno sotto l'azione della corrente elettrica, che le trasporta;

4° Quando alla tintura vegetale si sostituisce qualche dissoluzione alcalina concentratissima e potente assai, sonovi degli acidi che non la possono attraversare; essi vengono arrestati al passaggio; ed è in queste circostanze soltanto che la dissoluzione diventa essa stessa il polo della pila; il vaso di acqua pura è anche attraversato dall'elettricismo, ma l'acido non può insino ad esso arrivare;

5° Quando alla tintura vegetale si sostituisce qualche acido potentissimo e concentrato, sonovi ancora degli ossidi che non possono attraversarlo; essi si combinano con quello senza potere andare al polo che gli attira.

Questi due ultimi fenomeni provano che le affinità chimiche, sempre dalla corrente modificate, non sono mai dalla stessa distrutte, e che ci ha dei casi, in cui esse conservano abbastanza energia per esercitarsi malgrado la sua influenza. Forse una corrente più forte basterebbe a neutralizzare le azioni chimiche, che si esercitano anche sotto una corrente più debole.

I diversi ossidi che entrano nella composizione del vetro possono anch'essi essere ridotti o separati dall'azione della pila. E del pari le sostanze vegetali ed animali possono venir decomposte quando sono umide. Siffatti fenomeni ai quali non si credeva di giungere, quando non conoscevasi ancora tutta la potenza dell'apparecchio di Volta, spandevano una gran confusione nelle prime esperienze. Per esempio l'acqua più pura ora diventava acida ora alcalina sotto l'influenza della corrente. Alcuni sperimentatori vi trovavano allora dell'acido nitrico e dell'ammoniaca; altri dell'acido idroclorico; altri infine un acido che proponevano di chiamare acido elettrico, sup-

ponendo che fosse formato in tutti i pezzi da una combinazione realmente chimica del fluido elettrico e dell'acqua.

Il Sig. H. Davy spiegò il primo l'origine di tutte queste sostanze dimostrando che procedevano dal vetro ovvero dalle membrane vegetali o animali adoperate nell'esperienze; egli fece nel tempo stesso conoscere il fenomeno del trasferimento in tutti i suoi particolari, e pose i primi fondamenti della scienza elettro-chimica. (*Trans. fil.*, *1807*, ed *Ann. di Chimica* t. 63). E così ei si gittò in quella immensa carriera in cui dovea fare scoverte sì belle e meriarsi una fama tanto grande.

I Sig. Gay-Lussac e Thènard hanno anche fatto con la grossa pila della scuola Politecnica un gran numero di importanti scoverte, i cui particolari si trovano nella grande opera da essi intorno a ciò pubblicata (*Ricerche fisiche, chimiche, ecc.*): ma siffatte ricerche sono troppo intimamente ligate alle teoriche chimiche, perchè si possa quì da noi farne conoscere i principali risultamenti.

Parimente è dovuto un fatto maraviglioso al dottor Seebeck: si mettono alcuni grammi di mercurio in una capsula d'idroclorato di ammoniaca (*fig. 352*), si collochi questa capsula su di una lamina di metallo comunicante col polo positivo di una forte pila, e non appena si tocca il mercurio col filo negativo, lo si vedrà spingere come un fungo e prendere un volume cinque o sei volte maggiore del primitivo. I Sig. Gay-Lussac e Thènard han fatto l'analisi di un tal prodotto. (*Ricerche fisico-chimiche* t. 1mo) ed essi hanno riconosciuto che il mercurio assorbe in tal modo un volume d'idrogeno rappresentato da 3,47, ed un volume di ammoniaca rappresentato da 4,22.

CAPITOLO III.

Delle pile secche.

229. *Costruzione delle pile di Zamboni.* — Nelle pile secche gli *elementi elettro-motori* sono ancora delle sostanze metalliche, ma il *conduttore* che separa le diverse coppie non è più una dissoluzione liquida: è un corpo solido qualunque perfettamente asciutto o lievemente umido, o imbevuto di qualche sostanza, che non sia assolutamente impermeabile all' elettricismo; dappoich' è sempre mestieri che i fluidi elettrici sviluppati al contatto de' metalli, possano col tempo circolare in tutta l'estension della pila. Fra tutte le disposizioni che sonosi successivamente indicate da osservatori accurati, quella del sig. Zamboni pare una delle più efficaci. Si prendono de' fogli di carta ordinaria, alquanto doppia, ed umida quanto suole naturalmente esserla in un tempo piovoso; da un lato s'incolla con la gelatina, la gomma o l' amido una sfoglia di zinco laminata e poscia battuta; sul rovescio si mette del perossido di manganese benissimo stritolato sul porfido, spandendola in parecchie fiate con un turacciolo od anche con un pezzo di carta. Allora si sovrappongono con l' ordine medesimo molti fogli consimili, e con un stampo del diametro di 10 a 15 linee, si tolgono via ogni volta tanti dischi quanti fogli sono. Questi dischi vengono sopraposti alla volta loro nel medesimo ordine, ed in tal modo si fanno delle pile di 500, di 1000, o di 2000 coppie. Per meglio assicurare il contatto si mettono i dischi in soppressa, dopo avere a ciascun capo disposti de' pezzi metallici molto forti aventi cinque o sei appendici sporgenti, che si ligano insieme con cordoncini di seta; quindi per garantire la pila dal contatto dell' aria, la s'immerge in zolfo fuso o nella gomma lacca.

Qualche volta l'acqua s'imbeve con una leggera dissoluzione salina, oppure con latte, con mele, con butiro; olio di garofalo, essenza di terebintina ecc.; ma se le pile fatte con questi mezzi hanno il vantaggio di parere ne'primi momenti alquanto più forti, esse hanno altresì l'inconveniente di prontamente deteriorare in paragon delle prime, essendo rarissimo che dopo alquanti anni esse abbiano tuttavia la stessa antica energia.

In luogo di usare il zinco con l'ossido di manganese può adoperarsi senza danno lo stagno.

230. *Proprietà delle pile secche.* — Una pila di Zamboni composta per esempio di 2000 paia non può dare la minima commozione nè produrre la minima decomposizione chimica: intanto se si tocca l'uno de'poli con un piano di prova, vi si prende una sensibile carica, e per mezzo della bilancia elettrica possono tra di loro paragonarsi le tensioni delle diverse pile, o le tensioni che dà una pila medesima in tempi diversi; del pari toccando per un momento l'uno de'poli col condensatore a taffettà, tale una carica si ottiene, che qualche volta è impossibile tirarne una forte scintilla. Questa prodigiosa differenza, che si osserva fra una pila di 2000 paia caricata con carta umida, ed una pila di 2000 paia consimili, caricata con acqua acidulata, dipende soprattutto dall'imperfezion della conduttibilità delle rotelle di carta o degli altri corpi, che separano le diverse coppie: i fluidi non si possono trasmettere che con lentezza per giungere insino al polo, ed è siffatta lentezza, che stabilisce le condizioni di equilibrio, onde faremo l'analisi.

1° Se la pila è isolata da' due poli od abbandonata a sè stessa nell'aria perfettamente secca; le elettricità, che si sviluppano su tutti gli elementi, si propagano a poco a poco attraverso del conduttore imperfetto, e si cumulano l'una al polo positivo, al negativo l'altra; ma la tensione cessa di crescere, e l'equilibrio è stabilito appena la quantità di fluido, che sopraggiunge, dopo avere vinto tutte le resistenze, è uguale alla quantità di fluido, che si dissipa pel contatto dell'aria. Cominciando da questo punto la forza della pila sarà costante, i fluidi appariranno

immobili e come fissati a' suoi due estremi: ma non si vuole perder di vista ch' essi in verità sono in moto incessantemente, sperdendosi sempre per l'aria e riproducendosi sempre; è un *equilibrio mobile* e non mica un equilibrio stazionario.

2° Chiaro è per tutto quel che precede che la pila medesima trasportata in aria sempreppiù umida, sempre più debole vi apparirà, dappoichè la cagione che riproduce il fluido è la stessa, mentre quella che lo toglie aumenta coll' umidità; adunque bisogna che un nuovo equilibrio si stabilisca, e si stabilisce col fatto, quando la tensione è fino a tale affievolita che l' aria umida, operando sù questa tensione minore, tolga precisamente quanto fluido toglie l' aria secca su di una tensione più grande.

3° Allorchè una pila secca invece di essere abbandonata a sè stessa nell' aria asciutta o umida è disposta in guisa che le si tolga direttamente una parte del suo fluido essa offre in tal caso fenomeni anche più svariati, ma tutti altresì agevoli a spiegarsi con le stesse considerazioni dell' equilibrio mobile. Supponiamo per esempio che si dispongono l'una allato dell'altra due pile ciascuna di 2000 coppie, formando due colonne circa un piede alte; i poli loro superiori sono l'uno positivo e negativo l'altro; gl'inferiori comunicano fra di essi per mezzo di una striscia metallica: con siffatta disposizione le due pile non ne formano in realtà che una sola di 4000 coppie, dappoichè vale proprio come se si fosse presa una pila di 4000 coppie e si fosse rotta per mezzo, serbando una comunicazione fra le due sezioni della rottura. Ora immaginiamo che tra i due poli contrari superiori e ad una distanza eguale si sospenda un ago metallico leggero perfettamente mobile ed *isolato*. Quest'ago attirato da'due poli ugualmente, non essendoci ragione che vada piuttosto all'uno che all'altro, rimarrà immobile. Ma se una prima cagione lo disvia, esso farà sotto certe condizioni *un movimento perpetuo*. E di fatto giungendo per esempio a contatto del polo positivo vi si carica di elettricità positiva, si trova da questo polo respinto, ed attirato dall' altro che toccherà a sua volta; depone sù di questo l' elettricità positiva presa al pri-

mo, si carica di elettricità negativa, trovasi nuovamente respinto ed attirato in senso contrario; adunque torna al polo positivo, quindi al negativo, e così di seguito. Un ago bene aggiustato sembra debba eseguire queste oscillazioni regolari senza turbamento e senza riposo per tutto quel tempo che si vorrà. Ma ci ha sempre qualche accidente che disvia o che ferma questo movimento, che erasi dapprima creduto una specie di *moto perpetuo*. Sonovi in questo caso due cagioni che tolgono l'elettricità della pila, cioè l'aria e l'ago; ed una sola cagione sempre costante che la riproduce. Se per uno stato determinato dell'aria l'ago è combinato in modo nella sua forma, nelle sue dimensioni e nella celerità delle sue oscillazioni, che la somma delle quantità dei fluidi tolti da esso e dall'aria sia uguale esattamente alla quantità di fluido, che nel tempo medesimo si sviluppa, ci avrà un compenso perfetto, regolari saranno le oscillazioni, isocrone, e continueranno fino a che le cose staranno in siffatto stato: ma se l'aria diventa più secca, le oscillazioni saran più rapide, saran più lente se si fa più umida, e se più umida ancora, l'ago potrà pure fermarsi. Ecco in qual modo si spiegano tutte le bizzare singolarità e per dir così tutti i capricci dell'apparecchio da noi descritto; il quale si vede col fatto ora camminar presto ed or lentamente, fermarsi di tratto in tratto, poi riprendere il suo cammino dopo un tempo più o meno lungo. Ancora niente è più agevole che fermarlo a piacere: ei basta soffiare sui poli, o toccarli un istante con la mano, o con un buon conduttore; che tutta quanta la pila si scarica, e spesso bisognano alcune ore a riprodurre le quantità di fluido bastanti a determinare i movimenti dell'ago.

Ne' primi tempi dell'invenzione della pila secca questi periodi e queste intermittenze di moto erano state prese da alcuni osservatori per segni o presagi ligati ai fenomeni meteorologici. Ma da ciò che precede si conosce che non sono dipendenti da altro, se non da varietà accidentali dell'umidità ambiente.

231. *Elettroscopio di Bohnenberger*. — Il Sig. Bohnenberger ha fatto un'applicazione delle pile secche, che

pare a prima vista molto ingegnosa; dopo aver soppressa l'una delle sfoglie di oro del condensatore a lamine di oro, egli dispone a distanza uguale della rimanente sfoglia; due poli di una pila pochissimo energica; allora è chiaro che la menoma carica di elettricismo resinoso o vitreo determina questa sfoglia mobile ad andare verso il polo positivo o verso il negativo, ed in moto una volta, la dee continuare le gite sue ed i suoi ritorni per un tempo più o meno lungo. Ma un tale apparecchio mi è paruto sempre infedele, o a cagion dell'agitamento dell'aria della campana, o a cagion dell'elettricismo, che quest'aria riceve dai due poli della pila.

232. *Pile secondarie.* — Quando una colonna si forma sopraponendo alternatamente un disco di rame ed un disco di cartone umido, e ligando tutto il sistema alla foggia delle pile secche, e'si ha un apparecchio che non è affatto elettromotore, ma che ha nondimeno qualche analogia con la pila, e chiamasi per siffatta ragione *pila secondaria.* In fatti basta mettere i due capi di una pila secondaria a contatto co'due poli di una pila a forte tensione, perchè dopo un tempo determinato sia questa pila secondaria bastante di riprodurre essa medesima tutt'i fenomeni della pila. Sicchè dopo averla divisa dalla pila, che l'ha caricata, essa dà ad uno de'suoi poli l'elettricità positiva, la negativa all'altro, produce eziandio alcuni fenomeni chimici; infine se si scarica, torna a caricarsi sola un certo numero di volte, come una pila secca. I quali fenomeni scoverti dal Ritter si spiegano per mezzo dell'imperfetta conduttibilità del sistema. Una semplice striscia di carta umida, frapposta tra'due poli della pila offre i fenomeni stessi, ma con molto meno intensità, essa si carica altresì di elettricismo positivo sulla metà della lunghezza; che tocca il polo positivo della pila; e di elettricismo negativo sull'altra metà; questa carica si mantiene lunghissimo tempo, e quando le due estremità si mettono nello stato loro naturale, i due fluidi che coprono tuttavia la parte centrale si spandono in virtù della loro ripulsione attissima di riparare siffatte perdite, insino a che da ultimo le due elettricità ricevute dalla pila siano ricomposte o dissipate dal contatto dell'aria.

QUARTA SEZIONE

DELL' ELETTRO—MAGNETISMO.

CAPITOLO PRIMO

Dell' azione delle correnti sulle correnti.

233. *Scoverta dell' elettro-magnetismo.* — Il Sig. OErsted professore a Copenaghen fece nel 1820 la scoperta fondamentale, che ha dato nascimento all' *elettro-magnetismo*; era già noto che in certe circostanze le possenti scariche elettriche possono affettare l' ago calamitato; erasi per esempio osservato sopra i vascelli colpiti dal fulmine che gli aghi di bussola perdevano la proprietà di segnare il cammino della nave; molti fisici, tra quali possono citarsi Franklin, Beccaria, Wilson e Cavallo, avevano tentato di riprodurre questi fenomeni con la scarica di una bottiglia di Leida o con quella di una gran batteria, ed essi erano giunti col fatto a modificare il magnetismo degli aghi piccolissimi, o mettendoli nel circuito dell' esplosione, e semplicemente esponendoli a qualche distanza della scintilla; ma non avendo queste sperienze potuto produrre alcun regolare fenomeno, si stette contenti ad ammettere che l' urto elettrico operava in tal caso come il colpo del martello, ed il soggetto venne abbandonato. Un poco dopo si fecero con l' elettricismo della pila alcuni novelli tentativi, che non furono più felici. Infine

il Sig. OErsted trovò il mezzo di fare operare l'elettricità sul magnetismo in un modo sicuro e durevole. Scoverto una volta e con precisione diffinito il modo di azione, i fenomeni fondamentali si presentarono da sè medesimi al Sig. OErsted: un'immensa carriera fu aperta ai dotti di ogni paese, e mai forse non si vide la scienza in un periodo tanto corto arricchirsi di tante novelle verità.

Perchè i fluidi elettrici operino sul magnetismo, basta una condizione sola: che siano in moto.

Di fatto essendo un filo conduttore attraversato dalla corrente della pila, se vi si approssima un ago calamitato liberamente sospeso, vedesi che si devia dalla sua positura e fa un gran numero di oscillazioni senza essere generalmente nè attirato nè respinto. Ecco la prima esperienza del Sig. OErsted. Allorchè si vede una sì viva azione che si fa tuttavia sentire anche alla distanza di molti piedi, si rimane meravigliato che fra tante esperienze fatte con la pila, il caso non abbia una volta sola offerto all'osservazione un fenomeno di tal fatta.

La forza che in tal modo si esercita tra la corrente della pila ed il magnetismo dell'ago è ciò che appellasi la *forza elettro-magnetica*; ed è agevole a comprovare con l'esperienza che la forza elettro-magnetica offre i seguenti caratteri:

1° Che diminuisce a misura che cresce la distanza fra la corrente e l'ago;

2° Che si esercita in tutt'i sensi ed attraverso di tutte le sostanze eccetto che attraverso alle sostanze magnetiche.

Ecco ora alcune supposizioni che ci saranno utili per caratterizzare i fenomeni in un modo più commodo e più preciso: noi ammetteremo nella corrente una *direzione* determinata, e noi la diffiniremo dicendo che va sempre dal polo positivo al negativo, passando pel conduttore che congiunge i poli; sicchè, quando le comunicazioni sono stabilite ed il moto elettrico si compie in tutto il circuito della pila, noi diremo parlando dell'arco $z\ a$, che tocca col polo positivo, che la corrente l'attraversa passando da z in a (*fig. 353*); $a\ a'$ è del pari attraversato da a in a', $a'\ a''$ da a' in a'', ed infine $c\ z$ da c in z; e consi-

derando il circuito intero, noi diremo sempre che la corrente va da *c* in *z* passando per la pila, e da *z* in *c* passando pel conduttore. Sovente noi descriveremo la corrente con la forma e con le dimensioni del conduttore che attraversa; quando passa per un conduttore rettilineo noi la chiameremo *corrente rettilinea*; per un filo sottilissimo *corrente lineare*; per un cilindro cavo *corrente cilindrica*; per un filo curvo *corrente curvilinea*, per un cerchio *corrente circolare*; per un conduttore indefinito nella lunghezza sua *corrente indefinita*; con un conduttore, che rientra in sè stesso e forma un circuito compiuto *corrente chiusa*, ecc. Ma niuna di tali espressioni vuol esser presa alla lettera: quando noi diciamo che avvi una corrente nel conduttore, che congiunge i due poli della pila, noi non vogliamo che in nessun modo s' intenda che vi abbia in questo conduttore un moto di trasferimento del fluido vitreo dal polo positivo insino al negativo, e moto di trasferimento del fluido resinoso in senso inverso, dappoichè è anzi probabile, siccome abbiamo molte volte accennato, che la ricomposizione delle elettricità si faccia intorno di tutte le molecole ponderabili ed in tutti gl' interstizi che le separano.

234. *La corrente tende a volgere l' ago in croce con sè, col polo australe a sinistra.* — La figura 354 rappresenta un ago calamitato *b a*, al di sopra del quale passa orizzontalmente una corrente rettilinea *c c'*, situata nel piano del meridiano magnetico e diretta da *c* in *c'*; l'ago è spinto fuori dalla sua pristina direzione; il suo polo *australe* è spinto all' *occidente*, e dopo alcune oscillazioni esso fermasi nella posizione *b' a'*, provando in tal guisa una deviazione misurata dall' arco *a a'*. La quale cresce o diminuisce, siccome la corrente si abbassa per accostarla più dappresso all' ago, o si rialza per allontanarnela.

Essendo ricondotte le cose allo stato di prima, se la corrente nuovamente si accosta, ma rivolgendola, perchè vada in senso contrario da *c'* in *c*, siccome vien segnato dalla picciola freccia aguzzata; l'ago prova tuttavia gli effetti della sua presenza; il polo suo *australe* è spinto all'*oriente*; ed è nella posizione *b'' a''* che va ad arrestarsi.

Sicchè *al di sopra* dell' ago la corrente devia il polo australe all' occidente, quando essa medesima va dal sud al nord; e lo devia all' oriente, quando per l' opposito va dal nord al sud.

Le medesime esperienze possono essere ripetute, facendo passare la corrente *al di sotto* dell' ago, sempre orizzontalmente e nel piano del meridiano magnetico: allora gli effetti, cosa maravigliosa, sono precisamente inversi; cioè il polo australe è spinto all' oriente quando la corrente va dal sud al nord, ed è spinta all' occidente quando va dal nord al sud.

In questi fenomeni la forza elettro-magnetica è combattuta dall' azion direttrice, che la terra esercita sopra l' ago, e per osservare l' effetto solo di questa novella potenza, che opera in un modo sì energico, e tanto nel tempo stesso particolare, ei fa mestieri di neutralizzare la forza terrestre: il che può farsi molto semplicemente; disponendo per esempio una sbarra orizzontale nel piano del meridiano magnetico, si discopre in tal caso il vero carattere della forza elettro-magnetica: si scorge che non è una forza attraente nè repellente; ma una forza *direttrice*, che gira sempre l' ago perpendicolarmente al filo conduttore, senza attirare un polo in preferenza dell' altro, cioè che la linea dei poli è sempre in croce colla corrente. Per acquistare una più chiara immagine di tal direzione, concepiamo un cilindro cavo di una qualsiasi lunghezza, e del diametro per esempio di un piede; seguendo l' asse di questo cilindrico immaginiamo un filo conduttore attraversato dalla corrente, ed un ago calamitato nella sua superficie, che possa liberamente moversi in tutti i versi: tale sarà l' effetto della forza elettromotrice, che l' ago si porrà sempre tangenzialmente al cilindro e trasversalmente ai suoi lati ovvero in altri termini se dal mezzo dell' ago si abbassi una perpendicolare sulla corrente, l' ago nel suo equilibrio sotto l' influenza della forza elettro-magnetica sarà esso medesimo perpendicolare al piano, che passa per questa perpendicolare e per la corrente. Ma ciò non basta a definire la direzione dell' ago, e bisogna assegnare ancora la posizion

dei suoi poli, determinare da qual lato si trovi il polo boreale, da quale l'australe, o che la corrente si propaghi per un verso o per l'altro. Erasi nei primi tempi in impaccio grande ad esprimere con poche parole queste corrispondenze di posizione e di direzione, che si complicano in mille modi: ma Ampère ha tolto via tutte queste difficoltà per mezzo di un paragone, che forse parrà bizzarro altrettanto quanto è ingegnoso. Ampère non si contenta di dare una direzione alla corrente, ci la fornisce ancora di una *testa*, dei *piedi* di una *mano diritta*, e di una *sinistra*; egli ne forma un uomo. Immaginiamo in una qualsiasi porzione del filo conduttore una picciola figura d'uomo coricata nella lunghezza, coi piedi dal canto del polo zinco e con la testa da quello del polo rame, in modo che secondo la nostra precedente difinizione la corrente entra pei piedi ed esce per la testa; immaginiamo che questa figura abbia *sempre* la faccia rivolta verso il mezzo dell'ago, su di cui la corrente opera: l'effetto allora è tale che l'ago, siccome abbiamo veduto, trovasi *in croce*, e sempre col suo polo australe verso la sinistra della piccola figura di uomo, il che noi esprimiamo, dicendo che esso volgesi in croce colla corrente col suo polo australe a sinistra. Questa maniera di formola particolare offre un'immagine facile, che supplisce a molte parole; e quelli che vorranno applicarla a tutte l'esperienze già da noi citate, non avranno di un lungo esercizio mestieri per riconoscere che è nel tempo medesimo fedelissima ed oltremodo comoda.

233. *L'intensità dell'azione della corrente è in ragion inversa della semplice distanza.* — Questa legge fondamentale è stata dimostrata dai Sig. Biot e Savart per mezzo di un apparecchio rappresentato nella figura 355; *a b* è un ago calamitato, simile ai piccioli aghi di prova, di cui si è parlato (**180**): esso è sospeso ad un filo di bozzolo per mezzo di un piccolo cappello di rame e trovasi coverto dall'agitazione dell'aria da una campana di vetro. L'azione della terra è neutralizzata da una sbarra convenevolmente situata, di modo che questo ago non ha più forza direttrice; esso è indifferente e pronto ad ob-

bedire senza resistere alle forze novelle, che si fanno agire su di esso, *c d* rappresenta la sezione di un grosso filo di rame otto a dieci pollici lungo teso verticalmente ed attraversato da una corrente ora da sù in giù, ora al contrario. Per determinare le idee noi supporremo che la corrente è ascendente: questo filo sempre verticale può essere portato a diverse distanze dall'ago, il quale in tutte le sue posizioni corrisponde sensibilmente al mezzo della sua lunghezza. Secondo la legge da noi testè indicata l'ago si mette in croce con la corrente col polo australe a sinistra, siccome rappresenta la figura; ma per poco che si allontana da tal posizione, esso vi ritorna con oscillazioni isocrone, la cui durata dipende dall'energia della forza elettro-magnetica. Adunque il numero delle oscillazioni fatte in un tempo determinato, la distanza della corrente e l'intensità della forza che esercita, sono tre cose ligate fra loro.

In una prima esperienza sia *d* la distanza della corrente dal mezzo *m* dell'ago, *e* l'intensità della forza, che esercita, ed *n* il numero delle oscillazioni che si eseguono in un tempo dato, a cagion di esempio in un minuto:

In una seconda esperienza siano *d'*, *e'*, ed *n'* le quantità analoghe.

L'intensità delle forze producenti oscillazioni isocrone essendo sempre tra loro come i quadrati dei numeri delle oscillazioni eseguite nel tempo medesimo, noi avremo (179):

$$\frac{e}{e'} = \frac{n^2}{n'^2}$$

Così dopo avere osservate le oscillazioni è agevole a paragonare le intensità delle forze. E solo con tal sorta di paragoni, per distanze comprese tra 15 e 120 millimetri, e prendendo convenevoli cautele per ovviare alle variazioni della pila, che i Sig. Biot e Savart hanno riconosciuto col fatto che *l'intensità della forza elettro-magnetica è in ragione inversa della semplice distanza.*

Ma non si vuole perder di vista che secondo la disposizione dell'apparecchio la corrente è rettilinea e di una lunghezza che può considerarsi come indefinita rispetto

alla lunghezza dell'ago, e soprattutto rispetto alla sua distanza sotto le quali condizioni soltanto la legge è vera. Il Sig. Laplace ha dimostrato che la forza elettro-magnetica elementare, quella cioè che è esercitata da una sezione sola della corrente, è in *ragione inversa del quadrato della distanza*, come tutte le altre forze note, ed è proporzionale al seno dell'angolo formato dalla direzione della corrente e dalla linea tirata dalla metà di tal sezione alla metà della calamita. Di fatto calcolando su questo principio la somma di tutte le azioni elementari, che sono esercitate su di un picciolo ago da una corrente rettilinea indefinita, trovasi che l'intensità di siffatta risultante totale dee diminuire, come l'esperienza dimostra, cioè in ragione inversa della semplice distanza.

Da questa legge medesima della forza elementare risulta pure, che l'intensità dell'azione di una corrente angolare indefinita, come è *mf* (*fig. 355*) su di un ago *ab*, è in ragion inversa della distanza *a m*, siccome quella di una corrente rettilinea, ma che è proporzionale alla tangente della metà dell'angolo *emz*; sicchè prendendo per unità l'intensità dell'azione di *cd* sull'ago *ab*, l'intensità dell'azione di *emf* verrebbe rappresentata da:

$$tang\ \tfrac{1}{2}\ emz.$$

Ed è ciò che il Sig. Biot ha verificato ancora col fatto; e si vede bene che se la corrente *emf* si raddrizza fino al punto di confondersi con *cd*, accade che l'angolo *emz* essendo allora un angolo retto, la tangente di $\frac{1}{2}$ *emz* diventa uguale all'unità siccome debbe accadere.

236. *Condizione di equilibrio di un ago calamitato sottomesso all'azione di una corrente rettilinea indefinita.* — La precedente legge non è vera se non a cominciare da una distanza, che è almeno cinque o sei fiate maggiore della lunghezza dell'ago. Per distanze minori i fenomeni si presentano sotto un altro aspetto: siano per esempio *ab* (*fig. 356*) i due poli di un ago orizzontale, *acbd* il cerchio che possono descrivere, ed *ll'* una perpendicolare elevata sulla metà *m* dell'ago, ed indefinitamente pro-

*

lungata dai due lati. Ecco ciò che si osserva quando si fa agire sull'ago una corrente verticale indefinita, che noi per maggiore semplicità supporremo sempre ascendente, cioè elevatesi al di sopra del piano della figura.

1° Quando la corrente trovasi sù qualche punto della circonferenza *a b c d*, essa non tende più a mettere l'ago in croce con sè, e lo lascia perfettamente in riposo nè lo fa volgere nè nell'un verso, nè nell'altro.

2° Quando la corrente è nel *quadrante a m c* essa attira a se il polo australe fino al contatto; al contrario essa attira a sè il polo boreale, quando è nel *quadrante b m c*: nel *quadrante a m d*, e *b m d* effetti inversi produce. Quindi l'equilibrio è instabile, quando la corrente sta sopra *m c*, ed è stabile quando sta sopra *m d*; mentre per l'opposito si osserva la stabilità sopra *cl*, e sopra *dl'* l'instabilità.

In una Memoria letta all'Accademia delle Scienze nel 1822 ed impressa in sunto negli *Ann. di Chimica* (t. 21, p. 77), io ho fatto l'analisi di tai fenomeni e di tutti quelli, che dipendono da rivolgimenti di azione a breve distanza o su di un ago mobile intorno al suo centro, o su di un ago mobile intorno ad un qualsiasi punto. E risulta dall'esperienze e dal calcolo che tutti questi fenomeni possono spiegarsi per mezzo del seguente principio, che io mi limito a qui accennare: l'azione che si esercita fra una corrente rettilinea indefinita ed il polo di una calamita forma un sistema di due forze parallele uguali e contrarie, componendo una coppia; queste forze sono perpendicolari alla corrente e perpendicolari nella più breve distanza della corrente dal polo della calamita, e tale è la loro direzione che il polo australe è sempre spinto a sinistra e sempre il polo boreale a diritta; l'intensità della corrente è in ragion inversa della distanza della corrente dal polo della calamita.

Questo principio stesso spiega del pari tutti i fenomeni di equilibrio, che presentano gli aghi sottoposti a qualsivogliano condizioni, come gli aghi galleggianti sulla superficie dei liquidi o quelli che si movono intorno di un punto o di un asse qualunque.

237. *Moltiplicatore o galvanometro.* — Poco tempo dopo la scoverta del Sig. OEsted il Sig. Schweiger immaginò il *galvanometro*, che dicesi pure *moltiplicatore*, perchè di fatto moltiplica la forza elettro-magnetica. Quest' istrumento, che è di una meravigliosa sensibilità per discoprire le minime tracce dell' elettricismo in moto, è fondato su questo fatto, che una corrente circolare o poligonale, o in generale avente una forma qualunque che torna in sè, opera in tutte le sue parti per dirigere nel medesimo verso un ago calamitato che da tutte parti inviluppi, nè altro è questo fatto che una conseguenza della proposizione generica da noi stabilita (234). In fatti tutte le parti della corrente, che percorre per esempio i lati del quadrato *pqron* (*fig.* 357), operano allo stesso modo su di un ago *ab* mobile intorno al centro della figura, e che può girarsi perpendicolarmente al suo piano: il lato *no* tende a volgere il polo australe dinanzi dalla figura, ed il polo boreale di dietro; lo stesso è del lato *qr*, del lato *or*, e dal lato *p q*. Sicchè dovrà l' ago girarsi con grande energia perpendicolarmente al piano della corrente col polo australe innanzi. Un secondo circuito della medesima intensità andando nel verso medesimo produce un eguale effetto su di esso; lo stesso accadrebbe di un terzo, di un quarto, di un centesimo; adunque, un filo conduttore in sè stesso ravvolto e formante cento giri deve, quando è attraversato dalla stessa corrente, produrre un effetto cento volte maggiore di un filo di un solo giro: se non che bisogna, che i fluidi percorrano tutti i ravvolgimenti del filo senza passare lateralmente da un giro all' altro; condizione facile ad essere adempiuta. Prendesi a questo effetto un filo di argento o di rame rosso quindici o venti metri lungo, doppio qualche frazion di millimetri, e rivestito di un filo di seta, i cui giri sono strettissimi; si ravvolge su di un piccolo quadro di legno o metallico, quasi come il filo intorno al rocchetto; solo si rimane a ciascuno estremo libera la lunghezza di 1 ovvero 2 metri, ed è ciò che si chiama *i due fili del moltiplicatore;* la corrente debbe entrare dall'uno ed uscire per l'altro: l'ago calamitato, che dee servire d' indice, è sospeso ad un filo

di cotone, e tutto l'apparecchio è coperto da una campana, che lo custodisce dalle agitazioni dell'aria. Quando si vuole far un esperimento girasi il quadro nella direzione del meridiano magnetico: l'ago sarà allora nel piano del quadro, e l'effetto della corrente lo disvia da siffatta posizione di un angolo più o meno grande, secondo ch'esso è più o meno energico; in tal positura la forza elettro-magnetica è combattuta dalla forza magnetica della terra, che opera incessantemente sull'ago per ricondurlo nel meridiano magnetico.

Questo primo moltiplicatore è già sensibilissimo, ma il Nobili ha renduta la sensibilità sua senza paragone più grande, adoperando invece di un ago solo un sistema di due aghi compensati. Di fatti se i due aghi *ab* ed *a' b'* (*fig. 256 e 358*) hanno i poli loro opposti l'uno all'altro, in modo che la loro unione non conservi altro, che una debolissima forza direttrice, e che si dispongano l'uno nell'interno del circuito e nell'esterno l'altro, è facile a vedere che la corrente opera sull'uno e sull'altro per farli girare nel medesimo verso; sicchè l'azione della corrente è raddoppiata quasi, e siccome da un'altra banda la forza direttrice è ridotta alla sua centesima o alla sua millesima parte, di quì procede che niente non limita la sensibilità di un *galvanometro* compensato.

Purtuttavia si comprende che per la reazione degli aghi lo stato loro magnetico mutando dall'uno all'altro momento, la forza direttrice epperò la sensibilità del galvanometro è mutabile essa medesima.

Per ligar tra loro gli aghi nel modo più fisso si contentano generalmente di piantarli in un filo di paglia ben dritto, o di attaccarli con un filo metallico (*fig. 257*).

L'ago superiore movesi su di un quadrante partito in 360 gradi, corrispondendo la linea 0 e 180 alla direzione del filo sul quadro in tal modo che gli aghi siano esattissimamente paralleli al filo, quando sono al zero, cioè nella loro posizione di equilibrio. La deviazione cresce insieme con l'intensità della corrente, ma s'intende bene che non può in alcuna guisa essere a siffatta intensità proporzionale.

La figura 359 rappresenta un galvanometro compiuto, e la figura 360 rappresenta separatamente il quadro sul quale il filo è ravvolto.

In molte esperienze giova qualche fiata fare uso di un *galvanometro differenziale* : così vien detto un galvanometro composto con due fili perfettamente uguali per la lunghezza loro, pel loro diametro e per la loro conduttibilità ; questi due fili sono nel tempo stesso ravvolti sul quadro, e quando si fanno passare per ciascuno di essi delle correnti opposte, altro non si osserva sugli aghi che la differenza delle azioni loro , di modo che l' istrumento rimane al zero, quando le correnti sono eguali perfettamente.

Il galvanometro serve , come vedremo più in là ad un gran numero di notevoli esperimenti; ma se fin da ora si vuole dare una immagine della sua sensibilità, ci basta per esempio immergere gli estremi de'due fili nell' acqua acidulata, allora si vedrà una corrente agitare gli aghi ; può eziandio sulla piastra di rame *a b* (*fig. 361*) mettersi un foglio di carta bagnata , e sulla carta una qualsiasi lamina di metallo *c d* ; nel qual caso mettendo l' uno dei fili *p* del galvanometro a contatto con la piastra *a b*, e l'altro filo *n* a contatto con la piastra *c d* , ci si avrà quasi sempre una corrente più o meno energica : bagnando la carta con dell'acqua un pò acida o un pò alcalina, la corrente acquista molto maggiore energia. Più lungi vedremo che quest'azione è dovuta piuttosto all'azione chimica, che al semplice contatto de'diversi metalli.

E sarà agevole sempre conoscere dal verso del movimento degli aghi in che verso la corrente cammini.

238. *Della calamitazione in virtù della corrente della pila e dell'elettricismo ordinario.* — La corrente elettrica non opera solo sul magnetismo libero, ma è capace a decomporre i magnetismi naturali di tutt' i corpi magnetici, e di calamitare con altrettanta potenza, che le calamite più forti. Per mostrar l' azione della corrente sul ferro dolce basta immergere nella limatura una porzione del filo che unisce i due poli della pila , siccome ha fatto il Sig. Arago: incontanente la limatura si avvolge intorno al filo e vi rimane attaccata per tutto il tempo che passa

la corrente, ma poi si distacca e cade non appena il circuito è rotto. Piccioli aghi di acciaio presentati alla corrente vi si attaccan del pari, mettendosi in croce con esso, poi conservano il magnetismo loro quando ne son separati. Intanto giusta ciò che abbiamo visto per dare alla corrente tutta quanta la sua efficacia, chiaro è che deesi farla passare trasversalmente intorno agli aghi, o per meglio dire intorno a ciascuna delle loro sezioni. Al che si perviene nel modo, che segue:

Si avvolge un filo metallico a *elica* su di un tubo di vetro (*fig. 362*), si situa l'ago in questo tubo, e si fa passar la corrente dall'uno estremo all'altro del filo dell'elica: un istante solo basta perchè sviluppi tutto il magnetismo che può svilupparsi in tali circostanze; conciossiachè dopo un contatto, che non ha che la durata della scintilla, l'ago disposto nel tubo trovasi compiutamente calamitato. La rapidità o piuttosto l'istantaneità, onde la corrente può vincere la resistenza della forza coercitiva è un fenomeno molto rimarchevole.

Due maniere di eliche si distinguono: l'elica *dextrorsum* (*fig. 362*), in cui il filo si ravvolge a *dritta*; e la elica *sinistrorsum* (*fig. 363*), in cui il filo si ravvolge a *sinistra*, supponendo sempre che si tengano dello stesso modo; ma per darne una più giusta immagine basta dire che l'ordinario *cava-turacciolo* e tutte le viti sono eliche *dextrorsum*.

Nell'elica *dextrorsum* il polo boreale dell'ago è sempre nell'estremità per la quale entra la corrente, od anche nell'estremità positiva del filo; e nell'elica *sinistrorsum*, al contrario è il polo australe dell'ago, che trovasi nell'estremità positiva.

Quando sul tubo medesimo si fanno molte eliche contrarie l'una dopo l'altra, l'ago allora offre nel suo magnetismo *un punto conseguente* nella congiunzione delle due eliche; sicchè ciascuna di esse opera tuttavia come se fosse sola.

Con un'elica ravvolta due fiate (*fig. 364*) si avrebbero due punti conseguenti, e così di seguito. Se si facesse in tal guisa un'elica a *passi* brevissimi e compo-

sta alternatamente di un giro *dextrorsum* e di un altro *sinistrorsum* si produrrebbe sull'ago calamitato una distribuzione di magnetismo particolarissima; o anzi l'effetto diffinitivo sarebbe tale, ch' ei parrebbe avesse conservato lo stato suo naturale.

La calamitazione in virtù dell' elettricismo ordinario dà origine a molti fenomeni osservabili, che noi esamineremo.

1° La corrente *diretta* che si ottiene facendo comunicare i conduttori coi cuscini solo debolissimi effetti produce, quando passa semplicemente per un filo dritto. Gli aghi anche sottilissimi, che si espongono trasversalmente ad una picciola distanza da questo filo, non si calamitano quando la corrente è *continua*, ma essi cominciano a prendere sensibili quantità di magnetismo, quando la corrente si fa passare a picciole scintille; il magnetismo loro cresce quando le scintille diventano più forti e vengono da più lungi; da ultimo l'azione della corrente della macchina, siccome quella della corrente della pila, per mezzo dell' eliche si accresce; nel qual caso vive scintille producono molto effetto sugli aghi, che sono nel tubo dell' elica, ed il Sig. Ridolfi con questo mezzo è giunto ancora a sviluppare magnetismo con una corrente continua.

2° Le scariche della bottiglia di Leida e delle batterie hanno una potenza magnetica considerevole, o che attraversino fili dritti, o che attraversino eliche a passi più o meno stretti (*fig. 362, 363, e 364*). Da prima erasi ottenuto con l' uno e l' altro mezzo gli stessissimi risultamenti, di quelli prodotti dalla pila: si era trovato che gli aghi trasversali accosto ai fili dritti si calamitano col polo australe a sinistra; e che nei tubi dell' eliche, si calamitano col polo australe all'estremità negativa per le eliche *dextrorsum*, ed all' estremità positive per le eliche *sinistrorsum*. Gli è in fatti ciò che accade spessissimo; ma il Sig. Savary ha scoverto parecchi fenomeni notabili, che sembrano stabilire una differenza fondamentale tra la corrente continua della pila e gli *urti elettrici* delle batterie (*Annal. di Chim.* t. XXXIV).

Quando l' urto è trasmesso da un *filo dritto* gli aghi

uguali, paralleli, situati trasversalmente dal medesimo lato del filo ed a diverse distanze, non sono calamitati nel medesimo senso: gli uni sono calamitati *positivamente*, cioè che i poli loro sono disposti come quelli di un ago precedentemente calamitato, che fosse libero di muoversi sotto l'azione di una corrente mite e continua che passa pel filo; mentre gli altri sono calamitati *negativamente*, cioè in senso contrario dei primi.

Il Sig. Savary ha conosciuto che queste alternative e le distanze in cui si manifestano dipendono per così dire da tutti gli elementi, che concorrono al fenomeno, cioè: dall'intensità della scarica, dalla lunghezza del filo teso in linea retta, dal suo diametro, dalla doppiezza degli aghi e dalla loro forza coercitiva. Generalmente i fili sottilissimi e le forze coercitive molto deboli presentano alternative men numerose; spesso ancora con tali condizioni la calamitazione è sempre positiva, nè i periodi sono da altro più segnati, che dalle differenze d'intensità.

Quando l'urto è trasmesso da *fili ravvolti a elica* sopra tubi di vetro o di legno, esso esercita ancora effetti analoghi sopra aghi situati successivamente nell'asse dei tubi; nel qual caso la sola variazione d'intensità nella carica della batteria può avere una grande influenza.

Da ultimo il Sig. Savary ha comprovato con numerose espierienze un altro fenomeno, che mi pare degno di tutta l'attenzione dei fisici. La quantità di magnetismo, che acquista un ago, sotto l'influenza di una scarica elettrica, ed il verso ancora della sua calamitazione dipendono dall'indole, e dalla dimensione dei corpi che lo toccano o l'inviluppano. In un'elica simile alle precedenti, ed attraversata da una scarica elettrica un ago non può acquistare più magnetismo, quando è inviluppato in un cilindro di rame assai doppio: siccome la doppiezza decresce, il magnetismo diventa sensibile, e con una doppiezza assai picciola più considerevole diventa, che nol sarebbe per un ago nudo ed isolato nell'asse dell'elica. Lo stagno, il ferro e l'argento posti intorno dell'ago gli danno analoghe proprietà, cioè che a sfoglie esilissime lo rendono più atto a ricevere il magnetismo, e che a cilindri

bastantemente doppi gli tolgono del tutto la proprietà di essere calamitato dall' urto elettrico. Cilindri di limatura metallica non producono quest' effetto, mentre strati concentrici alternatamente metallici e non metallici sì; dal che sembra risultare che le soluzioni di continuità perpendicolari all' asse dell' ago o all' asse dei cilindri hanno una grande influenza sulle proprietà loro.

239. *Della rotazione delle calamite in virtù dell' influenza delle correnti.* — Il fenomeno notevole della rotazione delle calamite per l' azione delle correnti è stato indicato dal D.r Wollaston, e dimostrato dal Sig. Faraday in un tempo, in cui non si avevano ancora, che nozioni in nessun modo compiute sulle forze elettro-magnetiche.

Ecco prima di tutto i particolari degli esperimenti: un largo provino di vetro *v v'* (*fig. 365*) è ripieno di mercurio fino ad una picciola distanza dagli orli suoi; una calamita cilindrica *ab* stivata con un contrappeso di platino *p*, si tiene ritta nel mercurio in modo che il suo polo *a* si elevi di alcuni millimetri al di sopra del livello (questa calamita è rappresentata alquanto più in grande nella *figura 367*); un' asta *t* che può elevarsi od abbassarsi ad arbitrio per mezzo di una vite di pressione, va ad immergersi nel mercurio col suo estremo inferiore, mentre con l' altro estremo comunica con un conduttore di rame *c* comunicante esso stesso con l' uno dei poli della pila; da ultimo il conduttore *c'*, che sta all'altro polo, passa sull' orlo del provino, e mette capo nel mercurio molto dappresso al suo esterno contorno. Perchè sia tutto simmetrico gli si dà la forma di un anello. Appena stabilita la comunicazione la calamita gira con un moto più o meno celere nel medesimo senso, e fa intorno all' asta *t* dei successivi rivolgimenti; essa tende volentieri a toccarla ed a girare allora più rapidamente, ma è facile con qualche cura aggiustarlo, perchè si mantenga in distanza; intanto bisogna un apparecchio potente perchè la rotazione sia rapida e regolare.

Ma l' esperienza può disporsi in un altro modo, che dà sempre una grande velocità, eziandio con pile ordi-

narie di 10 a 12 coppie. E questa disposizione rappresentata nella figura 366. La picciola cavità, che trovasi all'estremo della calamita, e per la quale può chiudersi a vite sul contrappeso di platino, forma una specie di picciola coppa *g* (*fig.* 367) che si riempie di mercurio; si abbassa la punta dell'asta *t* in modo che metta capo in questo mercurio senza toccare la calamita, la quale così conserva tutta la sua mobilità; quindi si stabiliscano le comunicazioni coi due poli della pila come nella precedente esperienza; allora la calamita gira sopra sè stessa come una trottola e con grande celerità.

Nel primo modo di esperienza il verso del moto si stabilisce sempre, come se il polo australe fosse spinto alla sinistra della corrente; nel secondo il polo è immobile, ma il moto, quando alla sua direzione, come nel primo caso si compie. Nel terzo capitolo noi vedremo la spiegazione di siffatti fenomeni.

CAPITOLO II.

Azione della terra e delle calamite sulle correnti.

240. *Direzione delle correnti in virtù dell'influenza del magnetismo terrestre.* — Quando si fu provato l'azione delle correnti sulle calamite, non potevasi più dubitare che dalla parte delle calamite non ci fosse una reazione uguale capace di dirigere le correnti e di muoverle in diverse maniere. Fra tutti questi fenomeni inversi dei precedenti, quelli, che dovevano risultare dall'azione magnetica della terra, si presentavano come i più notevoli ad esaminare, e si tentò col fatto di disporre delle correnti mobili per istudiar le modificazioni che proverebbero abbandonandoli come bussole all'influenza del magnetismo terrestre. Ma questi primi tentativi non davano soddisfacenti, risultamenti, essendo allora malagevole il dare alla corrente tutta la mobilità desiderabile. Intanto Ampère pervenne a togliere tutte queste difficoltà con un modo ingegnoso di sospensione che con prò si applica a tutte le correnti mobili. Noi daremo un'immagine di tale aggiustamento.

La figura 368 rappresenta due colonne verticali di rame *v* e *t* stabilite su di un piede di legno: nel loro superiore estremo s'incurvano *a potenza*, e vanno a terminare nelle due coppe *x*, *y*, di cui i centri sono nella medesima verticale; le parti della colonna, che sembrano toccarsi sono divise l'una dall'altra da sostanze isolanti: sicchè quando il piede loro comunica co'due poli della pila con un mezzo, che noi accenneremo, chiaro è che i fluidi elettrici pervengono l'uno nella coppa *x* l'altro nella coppa *y*, e che non havvi niuna corrente prodotta, eccetto se non si stabilisca una comunicazione fra queste due coppe, possono chiamarsi *coppa positiva* l'una e *negativa* l'altra secondo la natura del fluido, che ricevono.

Niente non pare più semplice del far giungere l'elettricismo al piede delle colonne: nondimeno, siccome bisogna mutare spesso le comunicazioni, doverle sopprimere all'istante, o stabilirle in un ordine inverso, senza togliere nulla all'apparecchio, Ampère ha immaginata un ingegnosa disposizione, che adempie commodissimamente questo scopo.

r ed *r'* (*fig. 369*) sono due scanalature alcune linee profonde, incavate nella doppiezza diuna piastra di legno (*fig. 370*) che può collocarsi sopra tavole di diversi apparecchi elettro-magnetici; *v* e *v'*, *t* e *t'* sono quattro cavità, incavate dello stesso modo, il che comunicano diagonalmente per mezzo di due lamine di rame, cioè *ll'*, che va da *v* in *v'*, ed *mm'*, che va da *t* in *t'*: nel punto d'incrociamento queste lamine sono divise da una picciola striscia di sostanza non conduttrice, affinchè mai non possa la corrente passare dall'una all'altra. Le due scalanature e le quattro cavità sono ripiene di mercurio; ma sono state già precedentemente incollate con resina, affinchè non possa la corrente stabilirsi attraverso del legno che le separa.

Ciò posto facciamo che il filo positivo della pila s'immerga nella scanalatura *r*, ed il filo negativo nella scanalatura *r'*; si vede manifestamente che i fluidi non potranno passare nè nell'una nè nell'altra delle quattro cavità *v*, *v'*, *t*, *t'*; ma se nel tempo medesimo si stabilisce una comunicazione da *r* a *v* ed un'altra da *r'* a *t*; il fluido passerà da *v* a *v'* per mezzo della lamina *ll'*, e da *t* a *t'* mercè la lamina *mm'*; sicchè la striscia *b'*, che comunica con *v'*, sarà positiva, e la striscia *b*, che comunica con *t*, sarà negativa. Se per contrario, riprendendo le cose nel primo stato, si stabiliscono delle comucazioni da *r* a *t'* e da *r'* a *v'*; la striscia *b'* sarà negativa e positiva la striscia *b*: ora essendo queste due strisce destinate a produr la corrente, quando si fanno comunicare insieme con un qualunque circuito metallico, si vede bene che la corrente attraverserà nell'un verso o nell'altro il circuito, secondo si porranno due archi conduttori da *r* a *v* e da *r'* a *t*, ovvero da *r* a *t'* e da *r'* a *v'*. Ora gittando lo sguardo sul pezzo a *leva* figura 370, si vedrà incontanente

tutto il meccanismo di cui ci rimane a parlare. Questo pezzo è di legno e può girare intorno dell'asse aa', che si aggiusta ne' fori oo' su' piedi p e p'; esso ha quattro archi conduttori di metallo, due da un lato in c e c', e due altri consimili dall'altro lato in d e d'. Quando è al posto suo gli estremi dell'arco c corrispondono alla scanalatura r ed alla cavità v, quelle di c' alla scanalatura r' ed alla cavità t, quelle di d ad r ed a t', quelle di d' ad r' ed a v'; la loro lunghezza è tale, che in siffatta posizione essi non toccano affatto il mercurio; ma quando si fa girare la leva per immergere gli archi c e c', la corrente passa da b' a b, e quando si fa girarla per immergere gli archi d e d', la corrente passa in senso inverso da b a b'.

Questo aggiustamento preso nella sua totalità chiamasi una *leva*; il quale è stabilito in piè delle due colonne v e t della figura 368: se non che da noi si è soppresso il pezzo mobile, che avrebbe impedito di vedere le posizioni relative delle scanalature e delle cavità. Ma si vede che le strisce b e b' della figura 369 vanno a metter capo ciascuna in piè dell'una delle colonne, e che per mezzo di esse il fluido passa per giungere alle coppe x ed y: facendo immergere la leva in un verso, o nell'altro, ciascuna delle coppe si rendono alternatamente positiva e negativa.

Stabilito questo disaminiamo il filo di rame piegato in cerchio della figura 371, ch'è destinato a divenire una corrente circolare mobile: gli estremi di questo filo sono ligati fra di essi, ma l'uno dall'altro divisi da una sostanza isolante, essi sono ricurvi ad uncino in modo, che corrispondono alle due coppe x ed y della figura 368; da ultimo essi hanno due punte di acciaro, l'una che dee posare sulla lamina di vetro alquanto cava, che forma il fondo delle coppe, e l'altro che dee soltanto mettere capo nell'altra coppa. L'acqua acidulata o piuttosto il mercurio, onde si riempiono le due coppe, termina di stabilire le comunicazioni, ed in tal modo si ottiene una corrente circolare fornita di grande mobilità.

Essendo il cerchio posto al suo sito nell'apparecchio della figura 368 si fa passar la corrente, ed all'istante si

vede che havvi una forza, che lo sollecita; esso si gira, oscilla e da ultimo si fissa in una posizione determinata, alla quale incessantemente ritorna quando se ne allontana. Quindi allorchè immergendo la leva in senso contrario si muta la direzione della corrente, il cerchio fa una semi-rivoluzione, va ad oscillare dall'altro lato e fissarsi infine in una posizione diametralmente opposta. Ne' due casi il piano di equilibrio, in cui si ferma, si trova esattamente perpendicolare al piano del meridiano magnetico. *L'equilibrio stabile ha luogo quando nell'inferior parte del circuito, la corrente va dall'est all'ovest.*

Circuiti chiusi, triangolari; quadrati o di un'altra qualsiasi figura possono essere posti alla prova sull'apparecchio medesimo (*fig. 368*), e presentano i medesimi effetti; così il rettangolo della (*fig. 372*) si dirige come il precedente cerchio.

Perchè l'azione terrestre da sè medesima si neutralizzi in un qualsivoglia sito basta aggiustare i fili per avere dall'una e dall'altra parte dell'asse di rotazione parti simmetriche, che la corrente attraversi nello ***stesso verso***: per esempio la figura 373 rappresenta un rettangolo, che non ha alcuna forza direttrice; in fatti e facile di vedere, seguendo la direzione della corrente sulla figura, che ci ha sempre dall'una e dall'altra parte dell'asse forze uguali, che scambievolmente si distruggono, dappoichè tendono a produrre una rotazione nello stesso senso.

241. *Direzione delle correnti verticali in virtù dell'influenza terrestre.* — Si è fatta la prima volta l'analisi de' precedenti fenomeni in una memoria da me presentata all'Istituto su tale soggetto. (*Annali di Chimica e di Fisica*, t. 21 p. 77). Analoghe ricerche avea fatte dal canto suo il Sig. Aug. de La Rive, delle quali ne dette conoscenza pochissimo tempo dopo alla Società d'Istoria naturale di Ginevra (*Biblioteca universale*, t. 21, pag. 21). Perchè si dia ragione dell'azion della terra ei bisogna esaminarne gli effetti sulle correnti verticali e sulle orizzontali. Ecco dapprima l'apparecchio che ho impiegato in tali ricerche per le correnti verticali. Esso è composto di due vasi cilindrici di rame l'uno superiore e l'altro

inferiore di un diametro alquanto più grande (*fig. 374*). Questi vasi sono perforati nel loro mezzo da un' apertura un pò larga, parimente cilindrica, in cui passa l' asta *t*, che termina nella coppa *c*; la traversa *h h'* è di sostanza non conduttrice, ed ha nel suo mezzo una punta onde si posa in equilibrio sul fondo della coppa *c* ripiena di mercurio. I fili *v* e *v'* attaccati alla traversa sono ricurvi per metter capo da un'estremità nell'acqua acidulata del vaso inferiore; una piccola linguetta metallica saldata sul fondo del primo vaso mette capo nel mercurio della coppa per istabilire una comunicazione fra l' acqua e l' asta. In tal modo la corrente, ch' entra pel vaso inferiore passa nell'acqua acidulata del vaso inferiore, ne' fili verticali, nell'acqua acidulata del vaso superiore, nella linguetta, nella coppa, e va a scendere in fine per l' asta *t*.

Quando si alza l' estremità inferiore o superiore dell'uno de' fili per farla uscire dell'acqua acidulata, in modo che la corrente passi per l'altro filo soltanto, il sistema si dirige e si va a situare nel piano perpendicolare al meridiano magnetico: *allorchè la corrente è ascendente il filo che la stessa attraversa prende sito all' occidente*, od almeno se va all'oriente non vi trova altro che una posizione di equilibrio instabile, da cui la minima forza può strapparlo: il contrario accade, allorchè la corrente è discendente.

Per tal ragione si vede che i due fili presi insieme, se sono ugualissimi, diametralmente opposti, situati alla distanza medesima dall' asse, ed attraversati da correnti della medesima intensità, debbono formare un sistema compiutamente indifferente all'azione terrestre; dappoichè in tutte le posizioni intorno dell' asse, i due fili sono allora sollecitati da forze parallele, uguali e dirette nel medesimo verso, che non cessano di equilibrarsi. Ma non è più lo stesso quando i due fili non sono diametralmente opposti, o quando ci ha tra di essi qualche lieve differenza di diametro, di forma, di lunghezza, di distanza dall'asse, o di facoltà conduttrice, che trascina qualche disugualità ne' movimenti di rotazione. Variando queste diverse circostanze può farsi un gran numero d'importanti esperienze.

Perchè l'equilibrio sia più stabile, si può, senza niente modificare i risultamenti, congiungere gli estremi inferiori dei fili con una fettuccia di rame formante un cerchio parallello agli orli del vaso.

242. ***Rotazione delle correnti orizzontali in virtù dell'influenza terrestre.*** — L'apparecchio, che serve a studiar l'azione delle correnti orizzontali è rappresentato nella figura 375 : è un semplice vaso di rame consimile ai precedenti; il filo orizzontale *a b* terminato con le palle *c* e *d*, è in equilibrio stabile sulla sua punta, che sta nella coppa centrale , e due appendici verticali cortissime mettono capo nell'acqua acidulata del vaso. La corrente, che entra per esempio per la coppa, attraversa in senso opposto le due metà del filo per passare nell'acqua acidulata , e quinci nel metallo del vaso , e bentosto si scorge un movimento continuo di rotazione. La rotazione si fa dall'est all'ovest pel nord, quando la corrente va dal centro alla circonferenza, ed in senso contrario, quando la corrente va dalla circonferenza al centro del filo.

Il fenomeno si produce eziandio, sebbene con minore intensità, quando la corrente passa soltanto per l'una delle metà del filo , essendo l'altra metà di sostanza non conduttrice , ovvero cessando di metter capo nell'acqua acidulata.

Ma si vede che non ci avrebbe più alcun movimento in un filo orizzontale composto di due parti eguali ed attraversate dalla stessa corrente, come rappresenta la figura 376, qualunque d'altra parte si sia l'angolo delle due parti *a c* e *b c*; dappoichè nell'una la corrente cammina dalla circonferenza al centro *c*, e nell'altra dal centro alla circonferenza; di modo ch'esse tendono a girare in senso contrario e compongono un sistema indifferente: il quale purtuttavia tenderebbe di trasportarsi nell'un senso o nell'altro, secondo la direzione della linea, che divide l'angolo *a c b* in due parti eguali.

Secondo quest'analisi delle azioni provate dal canto della terra dalle correnti verticali ed orizzontali, è agevole il vedere che, se il sistema rappresentato nella fig. 377 gira con un movimento continuo, quando si aggiusta sul-

l'apparecchio della fig. 374, gli è per l'effetto delle sue branche orizzontali, e non mica per effetto delle verticali, che compongono un sistema indifferente.

243. *Direzione delle correnti in virtù delle calamite.* — Quel che noi abbiamo detto della direzione, che il magnetismo della terra imprime alle correnti mobili, basta per indicare la maggior parte degli effetti, che saranno prodotti dall'azione delle calamite; ma, siccome la terra opera senza posa, e' bisognerà per non complicare gli esperimenti adoperare apparecchi, ne'quali la sua influenza si distrugga da sè medesima. Per cagion di esempio, essendo il doppio rettangolo della figura 373 sospeso nell'apparecchio della figura 368, si vedrà che in tutte quante le posizioni rimane in equilibrio, ed accostando l'uno de'poli di una calamita, sarà agevole di attirarlo, respingerlo, ed imprimergli movimenti in tutt'i versi. Facendo siffatte sperienze si rimane dapprima meravigliato delle alternative di attrazioni e ripulsioni, che si manifestano in positure della calamita pochissimo differenti: portando l'uno dei suoi poli alquanto più a dritta o a manca, approssimandolo o allontanandolo di una picciolissima quantità, incontanente si osserva un rovesciamento nell'azione. Tutti questi movimenti tanto diversi ed apparentemente sì complicati procedono dal principio generico da noi enunciato (**236**). Basta per ispiegarli di far l'analisi delle diverse coppie, che dall'azione di ciascun polo sulle diverse parti della corrente risultano, e di osservare nel tempo stesso la disposizione di queste forze rispetto all'asse di rotazione, non che i bracci di leve in forza di cui operano; ed è questo un problema, le condizioni del quale possono essere infinitamente svariate.

Parecchie ingegnose esperienze son dovute al Sig. de La Rive, con le quali fa vedere che debolissime correnti possono essere dalle calamite dirette, o pure dall'azione magnetica della terra. Questi piccioli apparecchi sono delle correnti galleggianti, la cui forma può essere variata a piacere; e ne abbiamo rappresentato due nelle figure 378 e 379. In un pezzo di sughero destinato a galleggiare in un largo vaso di acqua acidulata, si fa passare una picciola

sfoglia di zinco z, che è saldata in s con un nastro o con un filo di rame c: questo filo di rame dopo aver descritto una circonferenza nella figura 378, e diversi rivolgimenti nella figura 379, va a passare a sua volta nel sughero, ed a metter capo nell'acqua acidulata ad una picciola distanza dalla sfoglia di zinco. Non appena l'apparecchio è sull'acqua, la corrente si stabilisce nella direzione delle frecce, ed è sensibile abbastanza per essere dalla terra diretta, e con più forte ragione per essere attirata o respinta dalle calamite. Presentandosi per esempio il polo boreale di una calamita al cerchio della figura 378 ad una determinata distanza, lo si vedrà in certo modo girare sopra sè stesso, poi verso il polo avanzarsi, invilupparsi con la calamita, giungere fino al mezzo, e quivi dopo alquante oscillazioni fermarsi. Avanzandosi o ritraendosi la calamita, il cerchio s'innoltra o retrocede per mantenere il suo posto, che è di fatto il solo, come può di leggieri vedersi, in cui si trovi in un equilibrio costante.

244. *Rotazione delle correnti in virtù delle calamite.* — Col polo di una calamita convenevolmente disposto rispetto alla corrente orizzontale della figura 375, si possono ad arbitrio produrre tutt' i fenomeni, che risulterebbero dall' azione magnetica della terra in tutt'i climi dall'equatore insino ai poli.

1° Essendo presentato il polo boreale di una sbarra *al di sotto* dell' apparecchio, e così operando nel medesimo senso del magnetismo terrestre, osservasi nella rotazione un grande acceleramento di velocità.

2° Ed al contrario essendo il polo medesimo presentato *al di sopra* dell'apparecchio, l'azione sua è inversa della terrestre; e si può variando le distanze far predominare di volta in volta la forza della calamita o quella del globo terrestre.

3° Il polo australe della calamita opera sempre in senso contrario del polo boreale; e, siccome l' azione di ciascuno dei poli col passare di sopra o di sotto al piano orizzontale $a\ b$ determina contrarie rotazioni, ben si manifesta che in questo piano medesimo l'azione di ciascuno è precisamente nulla. In tal modo può farsi con questo

apparecchio un numero di esperimenti grande, dei quali sarà facile spiegare tutti i particolari.

L'esperienze, che possono farsi con le correnti verticali, ascendenti o discendenti, della figura 374, non sono nè meno numerosi, nè meno svariati, nè meno agevoli ad ispiegare. Chiaro è per esempio che le due correnti diametralmente opposte, le quali sotto l'influenza del magnetismo terrestre formano un sistema indifferente, formeranno al contrario un sistema capace di ricevere un rapidissimo movimento di rotazione, sotto l'azione di uno dei poli della calamita. Di fatti immaginiamo il cilindro indefinito, che girando descrivono i due fili verticali *v*, *v'* ed i prolungamenti loro: venendo qualche parte del polo australe situata nell'interno di siffatto cilindro o di sotto o di sopra delle correnti, produrrà da per tutto una rotazione continua in un senso o nell'altro, secondochè la corrente sarà ascendente o discendente. Un polo boreale situato solo produrrà lo stesso fenomeno ancora sempre in senso inverso, in modo che non si avrebbe più alcuna rotazione, se questi due poli contrari operassero nel tempo stesso in siti, dove l'energia loro fosse uguale.

I poli di una calamita posti al di fuori del cilindro indefinito testè menzionato non possono produrre più rotazione, ma essi imprimono solo al sistema mobile una direzione determinata.

Gli apparecchi delle figure 374 e 377 partecipano ad un tempo delle proprietà delle branche orizzontali, e di quelle delle verticali, e dal canto delle calamite sperimenteranno effetti composti, dei quali sarà l'analisi agevole a fare.

Noi dobbiamo al Sig. Faraday un apparecchio semplicissimo, col quale di leggieri si produce il fenomeno della rotazione continua, esso è rappresentato nella figura 380: *zz'* è un vaso di zinco nel suo mezzo forato ed avente una picciola traversa, sulla quale è saldata in *s* un' asta di rame *s c*; nella coppa che termina l'asta, si mette in equilibrio l'apparecchio della figura 377; il mercurio della coppa e l'acqua acidulata del vaso in cui mette capo il nastro circolare, rendono le comunicazioni compiute,

e la corrente mobile si mette rapidamente a girare sotto l influenza delle sbarre situate di sotto al vaso in *a*. Ancora può darsi a questo apparecchio bastante sensibilità, perchè giri sotto l' influenza terrestre.

E quivi la corrente è prodotta dall' azione chimica, che l'acqua acidulata esercita sopra il zinco del vaso.

243. ***Di alcuni fenomeni che presentano le correnti, le quali passano nel voto o ne' liquidi.*** — Quegli che ha studiato siffatti fenomeni con la grossa pila della Società Reale, è il sig. H. Davy, del quale riferiremo quì tre delle più notevoli esperienze.

In primo luogo. Mettasi in fondo di una sottocoppa o di un largo vaso di vetro una massa considerevolissima di mercurio, sulla quale si sparge uno strato di acqua acidulata; i due poli di una pila vanno a metter capo verticalmente nel mercurio in due punti, che siano quasi alla distanza medesima dal centro e dalla circonferenza: stabilita in tal guisa la corrente una volta, non si osserva più alcun fenomeno particolare, ma non appena si accosta l'uno de' poli di una calamita potente, il mercurio apparisce dapprima agitato e mosso in giro, e subito dopo tutta quanta la massa mettesi in un celerissimo moto di rotazione intorno di ciascun filo, siccome intorno di un asse: la direzione di siffatti movimenti è determinata da quella della corrente, dalla posizione e dalla natura del polo magnetico, che gli si presenta. Più viva è l'azione, quando fannosi operare due poli contrari di una calamita, l'uno di sopra, l' altro di sotto al mercurio, e fuori dello spazio ch'è compreso tra fili.

Secondariamente. Pel fondo di un largo vaso di vetro si fanno passare due grossi fili di rame, che sono inverniciati dovunque di cera, fuorchè nell' estremità superiore, e che s' innalzano verticalmente fino a circa un pollice al di sopra del fondo. Sono questi due fili a tre pollici l'uno dall'altro. Essendo ripieno il vaso di mercurio in modo che il livello s'elevi una o due linee al di sopra dei fili, si fa passare una corrente energica molto. Allora si osservano questi fenomeni: il mercurio è fortemente agitato, la superficie sua al di sopra di ciascun filo s' innal-

za in forma di piccioli coni, donde si slanciano piccole onde in tutte le direzioni; il solo punto senza agitamento pare sia quello dello scontro di siffatte onde nel centro del mercurio tra'due fili. Quindi accostando gradatamente al di sopra dell'uno di questi coni il polo di una sbarra fortemente calamitata, la cima sua a poco a poco si sprofonda, ed infine si mette a livello: ed ancora ad una minima distanza la sbarra determina una depressione del mercurio, ed una specie d'imbuto mobile e vorticoso, la cui cima scende quasi fino all'estremo del filo.

Lo stagno in fusione presenta il fenomeno medesimo.

Terzo. La corrente che passa nel voto e di cui abbiamo dianzi parlato (227), può essere agitata diretta e posta in moto dal polo di una calamita possente. La scintilla, che parte da'conduttori della macchina sembra che abbia troppo instantaneità per obbedire all'azione delle calamite. Sicchè non dobbiamo stupirci che i lampi, i quali solcano il cielo durante le tempeste non siano sensibilmente diretti dall'azione magnetica della terra: mentre l'elettricità più diffusa, che si manifesta nelle alte regioni della atmosfera con una luce meno splendente e meno subitanea, obbedisce a siffatta influenza, e sembra ne riceva non già il suo moto, ma la direzion sua e la sua disposizione.

Nella Meteorologia noi vedremo che questa notevole esperienza del Sig. H. Davy è un dato importante per ispiegar le cagioni e le apparenze delle aurore boreali. Ma rimangono tuttavia a farsi investigazioni di grave momento su'fenomeni singolari, che offrono le correnti, quando attraversano i fluidi elastici rarefatti, ovvero i liquidi conduttori.

———

CAPITOLO III.

Dell'azione delle correnti sulle correnti.

246. Ad Ampère si deve la scoverta dell'azione scambievole che le correnti sulle correnti esercitano, e quasi unicamente alle sue ricerche si deve nel tempo stesso la conoscenza dei fenomeni infinitamente vari che ne risultano, e la conoscenza non meno importante delle leggi matematiche che li ligano fra loro. La teorica generale a cui egli è pervenuto, e che ha esposto in una delle più notabili opere del tempo nostro (*Teorica dei fenomeni elettro-dinamici*, ecc. Parigi, 1826), non abbraccia soltanto l'azione delle correnti propriamente dette, ma essa si estende ancora alle azioni magnetiche stesse, ed alle mutue azioni delle correnti e delle calamite; essa riduce però ad un principio medesimo fenomeni, che erano stati fino allora considerati come da differenti forze dipendenti. Per giugnere a questo scopo, egli è vero che Ampère è stato obbligato di ricorrere a considerazioni ipotetiche sulla costituzione delle calamite, ma le sue ipotesi son dell'ordine di quelle, che i geometri debbono ammettere per applicare il calcolo ai fenomeni fisici, esse sembra inoltre abbiano ricevuto un novello grado di probabilità dalle recenti scoverte del Sig. Faraday.

Ci dispiace vivamente che il quadro di un trattato elementare non ci permetta esporre questa teoria nella sua totalità, ma noi attenderemo almeno a far conoscere tutt' i principali esperimenti, che le servon di base, sostituendo per quanto ci sarà possibile un ordine logico all'ordine matematico adottato ultimamente da Ampère, e rendendone semplici gli apparecchi per renderli più intelligibili. (8)

247. *Azione delle correnti parallele.* — Due correnti parallele non possono essere in cospetto senza esercitare l'una sull'altra una più o meno viva azione, che dalla distanza loro dipende, dalla loro intensità, e dalla loro

lunghezza, non considerando quest' azione, che rispetto alla direzion degli effetti, essa è sottoposta a questa semplicissima legge generale: *Due correnti parallele si attirano quando camminano nel verso medesimo, e si respingono quando in contrario verso camminano.*

Questo è ciò che noi dimostreremo col seguente apparecchio:

a b c d e f (*fig. 381*) è un filo di rame piegato a rettangolo li cui estremi si aggiustano nelle due coppe *x* ed *y*, che terminano le due colonne *t* e *v*; allorchè questo rettangolo stà al suo posto, la corrente che entra per la colonna *t* lo percorre nel senso delle frecce per uscir dalla colonna *v*, allora le correnti di *t* e di *d e* camminano salendo nello stesso verso, quelle di *v* e di *b c* camminano nel verso stesso discendendo, e vi ha una viva attrazione che riconduce senza posa il rettangolo, nella posizione ove il lato *d e* è presso di *t* ed il lato *b c* presso di *v*, adunque le *correnti che vanno nel medesimo senso si attirano.*

Sostituendo il rettangolo della figura 382 a quello della figura 381, si hanno in questo rettangolo, e nelle colonne, correnti che camminano in senso contrario, e si osserva una ripulsione; adunque, le *correnti che vanno in senso contrario si respingono.*

In queste esperienze bisogna disporre gli apparecchi perchè non possa attribuirsi il movimento del rettangolo all'azione della terra, alla quale esso si trova sottoposto come l' abbiamo veduto precedentemente.

L' intensità di queste attrazioni e di queste ripulsioni è evidentemente proporzionale alla lunghezza dei lati verticali del rettangolo, ed al quadrato dell'intensità della corrente che è in circolazione nell'apparecchio; essa sarebbe ancora in ragion inversa della semplice distanza, se le colonne *t* e *v* potessero essere considerate come aventi una infinita lunghezza rispetto alla lunghezza delle correnti mobili sulle quali esse operano.

Allorchè un filo è ripiegato su di sè stesso (*fig. 383*) in maniera di poter dare passaggio a due correnti uguali e contrarie, il suo effetto attrattivo o repulsivo è evidente-

mente nullo, dappoichè le azioni, che esso esercita sia sulle calamite sia sulle correnti, si distruggono sempre, perchè sempre sono uguali ed opposte.

248. *Azione delle correnti tortuose.* — L'azione di una corrente tortuosa qualunque è equivalente a quella di una corrente lineare della medesima lunghezza ed intensità, posto purtuttavia che queste azioni si esercitano ad una distanza grandissima rispetto all'ampiezza delle tortuosità. Ed è ciò che si dimostra per mezzo della colonna della figura 384, ch'è composta di una lamina di metallo e di un filo di rame coverto di seta, comunicante con la sua cima e discendente tortuosamente, come la figura dimostra. Questa lamina può essere situata a qualche distanza dalla colonna *v*, ed allora, quando la corrente è per siffatta colonna discesa, la si fa risalire per la lamina, perchè torni a discendere per lo filo; nè si scorge che questo sistema eserciti la minima azione sul rettangolo mobile, a cui sta prossimissimo. Adunque la lamina ed il filo tortuoso rappresentano soltanto una corrente ascendente ed una corrente discendente, i cui effetti si distruggono; adunque l'azione del filo tortuoso soltanto a quella della lamina equivale.

Dal che procede che una corrente curvilinea di una picciola estensione può essere sostituita sempre o dalla sua corda *ab*, o dalle sue due proiezioni *ac* e *bc* (*fig. 385*) formando un qualsivoglia angolo tra di esse. Se il filo tortuoso della precedente esperienza fosse ravvolto a spirale, l'effetto suo sul rettangolo sarebbe uguale tuttavia a quello della corrente lineare: ma non si vorrebbe per altro conchiudere che sempre una spirale potesse venir sostituita da un filo, ma solamente che la sua risultante nel caso, di cui si tratta, è la stessa.

249. *Azione delle correnti incrociate.* — Noi diciamo correnti incrociate quelle, che non son parallelle, o che stiano nel piano medesimo e che possano le direzioni loro scontrarsi, o che si trovino in piani diversi nè possano scontrarsi le direzioni loro: il *punto d'incrociamento* nel primo caso è il punto di scontro; nel secondo è l'uno de' punti alla distanza più breve dalle due correnti.

Due correnti incrocicchiate tendono sempre di diventar parallelle per camminare nel medesimo senso; o con altre parole, *ci ha attrazione fra le due parti, che vanno entrambe accostandosi o entrambe allontanandosi dal punto d'incrociamento, e ripulsione fra le parti, che vanno una allontanandosi ed accostandosi l'altra a questo medesimo punto.*

Sicchè essendo *ab* e *cd* (*fig. 386*) due correnti, il cui punto d'incrociamento è in *r*, ei ci ha attrazione fra le due parti *ar* e *cr*, dappoichè esse si accostano ad *r*, non che fra le parti *br* ed *rd*, dappoichè se ne allontanano: ma ci ha ripulsione fra *ar* ed *rd*, dappoichè l'una si accosta e l'altra si allontana da *r*, e ripulsione consimile fra *cr* ed *rb*, per la ragione medesima.

Vale a dimostrare questa proposizione l'apparecchio delle figure 387 e 388; si sono in un disco di legno incavati due solchi semicircolari, separati da tramezzi non conduttori *a* e *b* (*fig. 388*); elevasi dal centro un perno, sul quale sta un ago di rame *cd* mobilissimo, i cui estremi ricurvi sono di ferro e mettono capo nel mercurio de' solchi; un pò al di sotto di questo ago trovasene un altro *ef*, che si fa camminar con la mano, ed i cui estremi mettono capo eziandio nel mercurio de' solchi; la corrente, che entra per la coppa *x* passa pe' due aghi e va a spuntare per la coppa *y*. La ripulsione si dimostra mettendo gli aghi nelle posizioni *cd* ed *ef* (*fig. 388*), e l'attrazione mettendoli in un'altra qualsiasi posizione dove l'angolo *crf* sia minore di un angolo retto.

Ei ne risulta che una corrente angolare *a b c* (*fig. 389*) tende a raddrizzarsi, perchè le parti *ab* e *bc* si respingono.

Questa ripulsione non tende solamente a ricondurre *bc* nel prolungamento di *ab*, ma si esercita pure quando siffatta condizione è adempiuta, cioè *che le porzioni contigue di una corrente medesima rettilinea si respingono*. Questa conseguenza importantissima nella teorica di Ampère non mi par tuttavia dimostrata in un modo interamente soddisfacente. Ecco l'apparecchio di cui si fa uso: un vaso ripieno di mercurio è diviso in due parti da un tramezzo

non conduttore *ab* (*fig. 390*), un filo di rame coverto di seta è ripiegato per passare da una divisione all'altra, presentando in ciascuna una branca orizzontale parallela al tramezzo, la quale è tutta rivestita di cera, fuorchè nel suo estremo, dove si ricurva alquanto per mettere capo nel mercurio. Facendo giungere i due poli della pila nel prolungamento delle due branche del filo, l'intero filo si vede retrocedere, e sembra annunziare una ripulsione tra la parte della corrente, che penetra nel filo, e quella che sta tuttavia nel mercurio. Ma non è abbastanza noto il modo, onde una corrente passa da un liquido in un solido, perchè questa conseguenza fosse strettissima; e basterebbe, per esempio, che una parte della corrente si presentasse al filo obliquamente, perchè una certa ripulsione dovesse aver luogo.

250. *Rotazione di una corrente in virtù dell'azione di una corrente.* — Immaginiamo una corrente fissa indefinita *ab* (*fig. 391*), ed una corrente *cd* mobile parallelamente a sè stessa: essendo in *r* il punto d'incrocicchiamento, ci avrà attrazione nell'angolo *brd* fra le parti *rb* e *cd*, le quali vanno entrambe allontanandosi dal vertice dell'angolo, o dal punto d'incrociamento: per l'opposito nell'angolo *ard* ci avrà ripulsione, dappoichè la parte *ar* si accosta, mentre la parte *cd* si allontana: queste due forze danno origine ad una risultante parallela *ab*, la qual tende di spingere senza posa la corrente *cd* da *a* verso *b*.

Se la corrente fissa *ab* è piegata in cerchio, allora si vede bene che *cd* dovrà indefinitamente girare in virtù dell'azione medesima.

Ed è quanto si verifica nell'apparecchio rappresentato dalla figura 392.

a z s b (*fig. 392*) è un nastro di rame coverto di seta piegato ad elica ed adattato intorno del vaso di rame *v*, *ci* è un conduttore comunicante col piede della colonna a coppa *p* che porta il filo *m*, e *d* comunica col vaso *v*. Se il polo positivo della pila si mette in *a* ed il negativo in *d*, dopo avere stabilito una comunicazione da *b* in *c*, e ripieno il vaso *v* di acqua acidulata, ci si ha una corren-

te, che cammina nell'elica da *z* in *s* facendo il giro del vaso e che scende nelle branche verticali del filo, il qual si mette a girare secondo *z i s*: se al contrario il polo positivo della pila si mette in *b* e sempre in *d* il negativo, allora dopo avere stabilito una comunicazione da *a* in *c* la corrente cammina sempre nell' elica da *s* in *z* facendo il giro del vaso, ed è sempre discendente nelle branche verticali del filo, che in tal caso gira in senso contrario, cioè secondo *s i z*. Il qual rovesciamento è bastante a dimostrare che non è la rotazione dovuta all'azione della terra, conciosiachè, essendo la corrente sempre discendente nel filo, la terra farebbela sempre girare nel senso medesimo.

Ma noi dobbiamo al Sig. Savary un'altra conseguenza dello stesso principio: disponendosi in un vaso di rame simile al precedente, ma senza elica, l'apparecchio della figura 393, si osserva del pari una rotazione continua, che si spiega nel modo seguente: non essendo conduttrice la branca verticale *n* del filo, la corrente scende solo per la branca *l* e percorre il nastro di rame nel senso *abc*, dappoichè questo nastro è da *c* in *a* interrotto da una lamina di avorio; dal nastro la corrente si dirige agli orli o al fondo del vaso attraversando il liquido, e potendo queste correnti parziali del liquido considerarsi come fisse rispetto al nastro mobile, si vede bene che questo deve girare nel senso *cba*, e che girerebbe ancora nel senso medesimo, se la corrente invece di passare dal nastro al liquido, dal liquido al nastro passasse. Per rovesciare il senso di rotazione dovrebbesi interrompere il nastro a sinistra della sua congiunzione con *l* invece d'interromperlo a dritta, e ciò è col fatto confermato dall'esperienza. Ma, quando il nastro è continuo come nell'apparecchio della figura 392, le correnti del liquido cessano di avere influenza, o meglio le influenze loro si distruggono, dappoichè agevolmente si scorge che sono uguali ed opposte.

Teorica del magnetismo e dell'azione scambievole delle calamite e delle correnti, considerando le calamite come unioni di correnti.

231. Il principio di questa teorica consiste in riguardare ciascuna molecola della calamita come inviluppata da una corrente particolare, che movesi incessantemente o all'interno o all'esterno della molecola, formando così un circuito chiuso e che torna in sè stesso, al quale per più semplicità diamo la forma circolare. Ciò posto se in una sbarra cilindrica si concepisca una semplice fila di molecole parallela all'asse, l'union loro formerà il sistema rappresentato nella figura 394; analoghi sistemi nascendo da tutte le altre file parallele, la sbarra non sarà altro che un fascio composto di un'infinità di sistemi simili, ma è manifesto che tutti i circuiti elementari contenuti in una sezione medesima perpendicolare all'asse potranno venir sempre rappresentati da un circuito solo, che ne sarà la risultante, e che in ultimo risultamento la sbarra calamitata può esser considerata come una semplice unione di correnti circolari, che camminano tutte nel senso medesimo e contenute in piani paralleli fra loro, e perpendicolari all'asse della sbarra; aventi di vantaggio i loro centri sù questo asse medesimo quando la calamitazione loro è regolare.

Ciò che abbiamo testè detto di una sbarra cilindrica può applicarsi ad un ago o generalmente ad una calamita di qualsiasi forma: ei sarà sempre bastante di por mente all'asse magnetico, ed intorno di esso alle correnti circolari di grandezza finita perpendicolari alla sua direzione, e che camminano nel senso medesimo.

Dietro di che agevol cosa è imitare le calamite, se non con esattezza almeno con un approssimamento più o meno grande: dappoichè basta prendere un filo metallico coverto di seta e farvi passare una corrente, dopo averlo ritorto, come rappresenta la figura 395, in cerchi separati da porzioni diritte. Questi sistemi di correnti si chiamano, *cilindri elettro-dinamici* o *solenoidi*: nondimeno sempre ci ha qualche differenza fra le solenoidi e le

calamite, non essendo i cerchi delle solenoidi totalmente chiusi, dappoichè essi comunicano fra di loro e sono dalla corrente medesima attraversati. Ma non possono queste differenze impedire la generica analogia degli effetti: d'altra parte basta ripiegare il filo come nella figura 395 per neutralizzar l'effetto della porzione dritta del filo, che unisce i cerchi diversi, conciosiacchè avrannosi allora in siffatta linea delle correnti uguali e contrarie.

Un filo torto a elica (*fig. 396*) in niente non differisce dalla solenoide precedente, ed il filo dritto ripiegato nell'asse neutralizza parimente l'effetto dell'obbliquità di ciascun giro dell'elica.

Per rappresentare tutti i fenomeni di un ago o di una data calamita senza dubbio non si vorrebbe sempre girare il filo su di un cilindro, ma più volentieri bisognerebbe girarlo o sopra coni opposti (*fig. 397*), o sopra forme di un'altra figura, la quale non fosse ancora una superficie di rivolgimento.

Il globo della terra nell'attuale ipotesi vuol esser considerato, come solcato da correnti interne parallele all'equatore magnetico, ma in ciascun luogo si potrà concepire sempre che l'unione delle azioni di tutte queste correnti, riduceasi all'azione di una corrente sola ipotetica, a cui si dovranno in conseguenza attribuire un'intensità ed una posizione bastanti a rappresentare la totalità degli effetti. Questa corrente noi diremo la *corrente media della terra:* sull'equatore magnetico la corrente media è in un piano verticale, ma in tutti gli altri siti è più o meno inclinata. Noi vedremo senza indugio come se ne possa determinare la direzione e la positura.

252. *Direzione della corrente terrestre.* — Di leggieri può dimostrarsi che *la corrente media della terra è diretta dall'est all'ovest*: di fatto essendo la parte più efficace di questa corrente notabilmente orizzontale in ogni luogo, ei basta di sottomettere all'azion sua una corrente verticale, mobile intorno ad un asse parimente verticale, e di osservare le sue posizioni di equilibrio. Or noi abbiamo precedentemente provato (**241**) che sotto l'azion della terra una cotal corrente mobile si dirige sempre per-

pendicolarmente al piano del meridiano magnetico, e che si ferma all'*est* quando è *discendente*, e quando è *ascendente* all'*ovest*; dunque la corrente terrestre è essa stessa perpendicolare al piano del meridiano magnetico, e cammina dall'est all'ovest. Intanto questa esperienza, che dà agevolmente la direzione della corrente terrestre, non decide niente sulla sua posizione; essa può passare benissimo nel luogo stesso dell'osservazione o al nord o al mezzo giorno, come nella figura 398 si vede; se fosse per esempio al mezzo giorno in *cd*, produrrebbe il risultamento medesimo; dappoichè, essendo *g* la proiezione dell'asse di rotazione, ed *h i k* la circonferenza, che può descrivere la corrente mobile, la qual noi supporremo ascendente, si vede chiaro che, essendo questa corrente mobile in *h*, essa verrebbe respinta dalla corrente terrestre *dr*, che s'accosta al punto d'incrociamento mentre essa se ne allontana, e che al contrario sarebbe attirata da *cr*, che com'essa si allontana dal punto d'incrociamento; dunque in virtù di questa doppia forza camminerebbe verso il punto *i*, il quale sarebbe là sola posizione sua di equilibrio. Il ragionamento medesimo farebbesi sulla corrente *ef*, che sta al nord del sito dell'osservazione.

253. *Posizione della corrente terrestre. In ogni luogo la corrente terrestre è in un piano perpendicolare all'ago d'inclinazione.* — Per dimostrarlo ci basta notare che una corrente rettangolare *a b c d e f* (*fig. 399*) è ben equilibrata intorno al suo asse di rotazione, e che non è sollecitata che da una corrente sola *g h* parallela a questo asse, per la stabilità dell'equilibrio, bisogna: 1° che il suo piano coincida col piano determinato dall'asse e dalla corrente, 2° che cammini parallelamente alla corrente nel suo lato, che n'è più vicino. Questa conseguenza, che è indipendente dalla direzione dell'asse di rotazione, si applica evidentemente al caso che questo asse fosse orizzontale come la corrente che sollecita il rettangolo. Però, se l'apparecchio della figura 400 si dirige in maniera, che l'asse di rotazione sia parallelo alla corrente terrestre, cioè, dietro ciò che noi abbiamo veduto, perpendicolare al meridiano magnetico, egli è manifesto che

che il piano, in cui la corrente rettangolare si metterà in equilibrio, sarà esattamente il piano in cui si trova la corrente terrestre. Or, facendo l'esperimento, si trova che il piano di equilibrio è perpendicolare all'ago d'inclinazione.

Questo risultamento, che difficile è rendere perfettamente esatto per gli strofinìi, del rimanente è confirmato dalla totalità delle osservazioni.

Gli stessi effetti mostrerebbe una corrente circolare o di un'altra forma.

Dopo aver comprovata la direzione e la posizione della corrente media della terra; noi ne applicheremo la teorica alla spiegazione dei diversi fenomeni.

Azione della terra sulle correnti.

234. *Direzione delle correnti chiuse.* — I lati orizzontali del rettangolo della figura 401, essendo traversati da correnti contrarie, niente possono provare per parte della corrente terrestre, da cui essi sono ugualmente allontanati; l'apparecchio dunque si riduce ai due lati verticali che debbono portarsi l'uno all'est, e l'altro all'ovest, come noi abbiamo veduto. Il rettangolo deve ancora porsi perpendicolarmente al meridiano magnetico, ed avere il suo equilibrio stabile; quando il lato discendente è all'est, ed il lato ascendente all'ovest, è in fatti ciò che noi abbiamo osservato (240).

La spiegazione medesima si applica ad un cerchio della figura 402, ogni quadrante del quale può, riguardo all'azione terrestre, essere rappresentato dalle sue proiezioni orizzontali e verticali, in maniera che esso si trasforma in un rettangolo.

Sarebbe lo stesso di qualunque altro circuito chiuso contenuto in un piano verticale e mobile intorno ad un asse verticale.

235. *Rotazione delle correnti orizzontali.* — La corrente orizzontale *ab*, mobile intorno al punto *a*, essendo dalla corrente terrestre sollecitata, che è essa stessa orizzontale, posta al di sotto di essa e verso il sud, come la figura 403 la presenta, deve girare nel verso *bcdf* quan-

do la corrente cammina dalla circonferenza al centro, e nel verso *bfdc* quando al contrario la corrente va dal centro alla circonferenza. In fatti, nella posizione *ab*, le correnti dell' apparecchio e della terra essendo parallele e camminando nel medesimo verso, vi ha un' attrazione che tende a trasportare il punto *b* in *c*: in questa posizione *ro*, respinge *ca* ed *rh* l'attira, deve dunque esso continuare il suo cammino fino in *d;* ivi ci ha repulsione fra le correnti parallele e le opposte, ed in *f* vi ha attrazione di *ro*, ripulsione di *rh*: così, la corrente *ab* deve prendere il suo movimento continuo come noi l'abbiamo in fatti osservato.

Azione della terra sulle calamite.

256. *Declinazione.* — Poichè una corrente circolare chiusa si dirige perpendicolarmente al meridiano magnetico, ci ne risulta che una riunione di un numero qualunque di cerchi paralleli fra loro e traversati da correnti, che nel medesimo verso camminano, deve porsi nella direzione medesima: ora una tale unione non è altro che una solenoide; dunque una solenoide orizzontale deve in modo girarsi, che il suo asse sia nella direzione dell' ago di declinazione, essendo all'ovest la corrente ascendente: è ciò che in fatti si verifica per mezzo della solenoide della figura 404, che si adatta all'apparecchio della figura 368.

Ei ne risulta che non solo l'ago di declinazione può rassomigliarsi ad una solenoide, ma che il polo australe delle calamite, cioè quello che verso il nord si dirige, è quello per cui il lato ascendente si trova *a diritta* quando lo si riguarda in faccia *dal capo*; o ciò che ritorna allo stesso quando un ago di declinazione è in equilibrio, le correnti della sua superficie *inferiore* vanno dall'*est* all' *ovest*, come la corrente terrestre.

257. *Inclinazione.* — Poichè una corrente chiusa mobile intorno ad un asse perpendicolare al meridiano magnetico si dirige in un piano perpendicolare all'ago d'inclinazione, egli è evidente che una solenoide ben equilibrata, di cui l'asse di figura sarebbe mobile nel meridiano magnetico, si metterebbe in equilibrio prendendo esattamente la direzione dell' ago d'inclinazione. Senza dubbio

sarebbe difficile fare solenoidi molto mobili per verificare questo risultamento con una esperienza diretta, ma basta l'approssimamento che per mezzo dell'apparecchio (*fig. 400*) può aversi, per dimostrare che nell'inclinazione, l'ago calamitato si comporta come una verace solenoide.

258. *Variazioni diurne e perturbazioni.* — Nella teorica ordinaria del magnetismo non possono spiegarsi questi fenomeni, che ammettendo particolari modificazioni nello stato del magnetismo terrestre, e si comprende che non vi è più difficoltà di attribuire queste modificazioni ad un cambiamento nella corrente elettrica, che ad un cambiamento nella distribuzione magnetica.

Azione mutua delle calamite e delle correnti.

259. *Direzione delle calamite per mezzo delle correnti.* — Noi abbiamo riassunto i diversi effetti dell'azione primitiva osservata da OErsted, dicendo che la ***corrente tende a far girare l'ago in croce con sè, col polo australe a sinistra*** (234). Ora tentiamo di vedere come questo fatto generale può spiegarsi riguardando la calamita come una solenoide. Or, se noi concepiamo una corrente verticale fissa ed ascendente *ab* (*fig. 405*) ed una corrente rettangolare mobile intorno all'asse orizzontale *cd*; egli è evidente che il piano del rettangolo diventerà verticale, tendendo il lato *ef* a salire ed il lato *gh* a discendere; perchè nel lato *ef* la corrente allontanandosi dal punto d'incrociamento rispetto alla corrente *ab*, è attirata dalla parte superiore di questa corrente, e respinta dalla parte inferiore: il contrario è per *gh*, il piano del rettangolo diventerà dunque verticale; una volta in questa posizione tende a girare in maniera di passare per la direzione della corrente verticale *ab*, dappoichè il più vicino lato verticale è attirato, e l'altro respinto. Sicchè quando una corrente rettangolare perfettamente mobile è sollecitata da una corrente verticale fissa, tende essa a girarsi in un piano verticale, che passa per la direzione della corrente fissa, e ad aggiustarvisi in maniera che il suo lato più vicino cammini nel medesimo verso di questa corrente.

*

Se noi frattanto consideriamo tre correnti rettangolari equidistanti (*fig. 406*), egli è evidente che quella del mezzo, sarà nel piano verticale della corrente fissa, le due altre essendo richiamate da forze la cui risultante sarà in questo piano. Se in luogo di concepirne solamente tre, noi consideriamo una solenoide composta di una infinità di rettangoli, ei ne risulterà per la ragione medesima, che l'asse della solenoide sarà esattamente *in croce con la corrente.*

Questo risultamento si applica ad un cerchio così come ad un rettangolo; dunque una solenoide qualunque sollecitata da una corrente si gira in croce con sè.

Noi possiamo aggiungere inoltre che il polo australe è a sinistra, perchè la sinistra della corrente essendo dietro il piano della figura 407, se si guarda in viso il capo della solenoide che è dietro a questo piano, si vede col fatto che si ha la corrente ascendente a dritta, ciò che è il carattere del polo australe (256). Così in ultimo risultamento la condizione di equilibrio fra una solenoide ed una corrente rettilinea è che la sezione media della solenoide e la corrente siano in un medesimo piano, e che il polo australe della solenoide sia a sinistra della corrente.

Questa direzione della solenoide libera, o dell'ago calamitato libero essendo una volta dimostrata si comprende quando è facile di spiegare, e le condizioni di equilibrio delle calamite che non possono moversi che attorno di un asse dato o sopra piani dati come le calamite galleggianti, e le condizioni di equilibrio delle correnti sottoposte in un qualsiasi modo e sollecitate dalle calamite.

260. *Rotazione delle calamite per le correnti.* — Quando la calamita gira intorno a se stessa come nella figura 408, Ampère spiega la rotazione nella maniera seguente: *abcd* essendo la sezione dell'apparecchio per la superficie del mercurio, ed *af* essendo una delle correnti che scorre sulla superficie del mercurio per guadagnare l'anello di rame per cui essa deve sortire dal vaso, la porzione *ab* è attirata da *af*, nel mentre *ad* è respinta, però la calamita deve girare in senso contrario della corrente che la costituisce. Quando al contrario la corrente

passa dal mercurio alla calamita, questa gira nel verso della sua corrente.

Allorchè la calamita descrive un cerchio intorno al conduttore che s'immerge nel mercurio (*fig.* 409), la spiegazione è un poco più complicata, noi la daremo quale essa si trova nell' opera di Ampère.

« Rappresentiamo la sezione orizzontale della solenoide col piccolo cerchio *etft'* (*fig.* 409), il cui centro è *a*, e la cui circonferenza *etft'* è una delle correnti elettriche, onde essa è composta. Supponendo che questa corrente si muova nel verso *etft'*, sarà essa attirata dalle correnti del mercurio, come *puz*, che a diritta di *etft'* nella figura ritrovansi, perciocchè la semicirconferenza *etf*, ove la corrente và nel verso stesso, ne è più ravvicinata di *ft'e*, ove va in verso contrario. Sia *as* questa attrazione uguale alla differenza delle forze esercitate dalle correnti *puz* sulle due mezze circoferenze, e che necessariamente passa pel centro loro *a*, dappoich' essa risulta dalle forze che queste correnti esercitano sù tutti gli elementi della circonferenza *etft'* che loro sono perpendicolari, e son per conseguenza diretti secondo i raggi di questa circonferenza. La corrente medesima *etft'* della solenoide è al contrario respinta dalle correnti, le quali, come *p' u' z'*, sono nella figura a sinistra di questa corrente *etft'*, perciocchè esse sono in contrario verso nella mezza circonferenza *ft'e* la più vicina di *p' u' z'*. Sia *as'* la ripulsione che risulta dalla differenza delle azioni esercitate dalle correnti *p' u' z'* sulle due mezze circonferenze *ft'e*, *etf* essa sarà uguale ad *as*, e farà col raggio *cad* l'angolo *da s'* = *cas*, dappoichè tutto è uguale dai due lati di questo raggio: la risultante *ar* di queste due forze le sarà dunque perpendicolare, e siccome essa passerà per il centro *a*, così queste due componenti *as*, *as'*, la solenoide non avrà alcuna tendenza a girare attorno al suo asse, come in fatti si osserva riguardo alla calamita gallegiante che questa solenoide rappresenta: ma in ogni momento esso tenderà a muoversi secondo la perpendicolare *ar* al raggio *cad*, e siccome, quando questo esperimento si fa con una calamita galleggiante, la resistenza del mercurio in ogni istante distrug-

ge la velocità acquistata, si vede questa calamita descrivere la curva perpendicolare a tutte le rette che come *cad* passano pel punto *c*, cioè la circonferenza di cui *ac* è raggio ».

261. *Rotazione delle correnti per le calamite.* — La spiegazione di questo fenomeno posa su di un principio generico, che non può mica coll'esperimento essere direttamente dimostrato, ma che soltanto può col calcolo dedursi dalle proprietà attraenti e repellenti, che fra le correnti esistono, e che noi abbiamo dianzi dimostrato. Questo generale principio può essere del seguente modo enunciato: la risultante di tutte le azioni, che una solenoide indefinita esercita su di una corrente rettilinea di picciola estensione, è una forza perpendicolare al triangolo, che ha per base la corrente e per vertice l'estremità dell'asse della solenoide. Siffatta forza è applicata nel mezzo della lunghenza della corrente, ed è indipendente dalla la direzione dell'asse della solenoide, che può esser qualunque, purchè il suo estremo rimanga sempre nel punto medesimo.

In tal modo essendo *ab* (*fig.* 410) una picciola corrente rettilinea, ed *s* l'estremità dell'asse di una solenoide interminabile, cioè il cui estremo *s'* possa considerarsi come infinitamente lontano, la risultante *mv* dell'azione della solenoide sulla corrente *ab* è perpendicolare al piano *sab*, ed applicata al punto *m* metà di *ab*: ma del resto essa è del tutto indipendente dalla curvatura e dalla direzione dell'asse *ss'*, che può prendere tutte le possibili positure intorno del punto *s*, senza che la risultante provi alcun cangiamento nè nella sua grandezza nè nella sua direzione (1).

---

(1) Quanto si è annunciato precedentemente è bastante allo scopo propostoci. Per coloro intanto, che vorranno intendere il principio nella sua totalità, noi aggiungeremo che la risultante, di cui si tratta, è in ragion diretta:

1. dell'intensità della corrente della solenoide,
2. dell'intensità della corrente dell'elemento *ab*,
3. della lunghezza *ab* dell'elemento,
4. del seno dell'angolo *ams*,

e che nel tempo medesimo essa è in ragion inversa del quadrato della distanza *ms*.

Nell'impossibilità di dimostrare un tal principio, noi fra di tanto tenteremo di applicarlo ad alcuni casi particolari per farne scorgere l'adeguatezza.

1° Se la direzione prolungata dell'elemento va a passare all'estremo *s* dell'asse della solenoide, l'azione riducesi a zero giusta il principio, il che può di leggieri dimostrarsi direttamente.

Essendo *ab* la corrente elementare (*fig. 411*) ed *s* la cima della solenoide, immaginiamo una picciola corrente circolare avente il suo centro nel punto *s*, ed il cui piano sia perpendicolare ad *sab*; tiriamo un qualsiasi diametro *cd*, e consideriamo gli effetti de' due elementi *x* ed *y* opposti diametralmente: fra l'elemento *x* ed *ab* evvi attrazione, conciossiachè si accostano entrambi al punto d'incrociamento; ma evvi fra l'elemento *y* ed *ab* un'attrazione uguale e contraria, che distrugge la prima; e, siccome lo stesso accade di tutti gli elementi diametralmente opposti, evidentemente risulta che l'azione del cerchio sull'elemento è interamente nulla. E lo stesso sarebbe di tutt' i cerchi della solenoide indefinita, il cui asse fosse sul prolungamento di *ab*.

Così ancora, se il primo cerchio della solenoide fosse in un piano che passa per l'elemento *ab*, e se l'asse della solenoide fosse perpendicolare a siffatto piano (*fig. 412*); dappoichè, essendo i cerchi della solenoide infinitamente piccioli rispetto alla distanza *sa*, le azioni opposte, come quelle che procedono da due elementi consecutivi in *c* e da due elementi consecutivi in *d* si distruggono sempre.

2° Se la direzione dell'elemento *ab* non passa più per l'estremo dell'asse della solenoide, s'essa è per esempio perpendicolare a questo asse ed in una certa distanza *sa* (*fig. 413*); in tal caso ci ha una risultante perpendicolare al triangolo *sab*: di fatto gli elementi *e* ed *f* paralleli alla corrente *ab* produrranno effetti uguali e contrari; ma i due elementi simmetrici *x* ed *y* della parte superiore daranno origine ad una risultante verticale *mv* ed i due elementi x' y' parimente simmetrici della parte inferiore darannola ad una risultante verticale diretta nel

medesimo senso della prima; in tal guisa la risultante dell'intero cerchio sarà verticale, e quindi perpendicolare al triangolo *sab*.

Questi particolari esempi bastano a dare un'immagine delle basi, sulle quali si fonda il principio generico. Ora vedremo in qual modo spiega siffatto principio la rotazione delle correnti verticali od orizzontali prodotte dalle calamite.

Correnti verticali. ab (*fig. 414*) essendo una corrente verticale mobile intorno dell'asse *z x*, ed essendo *s* l'estremità dell'asse *s' s* di una solenoide, la risultante dell'azione di una solenoide è perpendicolare al triangolo *sab* in tutte le posizioni, che può la corrente prendere intorno all'asse suo di rotazione; per conseguenza dee la corrente girare con un moto continuo. La direzione del quale cangia col senso della corrente *ab*, ed anche col polo della solenoide o della calamita, siccome abbiamo già osservato (244).

Correnti orizzontali. Il ragionamento medesimo si applica alla corrente orizzontale *ab* (*fig. 415*).

Azioni delle calamite le une sulle altre.

262. *Attrazioni e ripulsioni delle calamite.* — Immaginiamo una solenoide, che indefinitamente si estenda dall'una e dall'altra parte del punto *m* (*fig. 416*), e la cui corrente cammina nel senso dalle frecce indicato; immaginiamo in seguito che questa solenoide sia tagliata in *m*, e che le due parti siano allontanate l'una dall'altra, siccome dimostra la figura 417. Dalla nostra definizione risulta (256): 1° che l'estremo *a* è un polo australe, dappoichè guardando in presenza il cerchio che la termina, ci si vede che la corrente *ascendente* trovasi a *dritta*; 2° che l'estremo *b* è un polo boreale, dappoichè guardando in viso il cerchio che la termina, ei si vede che la corrente *ascendente* trovasi a *sinistra*; sicchè tagliando una solenoide perpendicolarmente al suo asse, i due poli, che ne risultano, sono sempre due poli di nomi contrari, siccome quando si rompe una calamita.

Ancora è manifesto che i poli contrari *a* e *b* delle due solenoidi si attirano l'un l'altro, dappoichè, considerando solo i cerchi che li terminano, si vede bene che le correnti sono parallelle e dirette nel medesimo verso, e lo stesso è di tutte le altre. Dall'altra parte si dimostra col calcolo che siffatta attrazione è in ragione inversa del quadrato della distanza, che separa i due poli *a* e *b*; il che stabilisce fra le solenoidi e le calamite una novella analogia molto valida.

E siccome da un'altra parte si dimostra (il che abbiamo già indicato (**261**) che l'azione di una solenoide indefinita è del tutto indipendente dalla posizione che il suo asse può prendere intorno al suo estremo; di quì procede che le due solenoidi della figura 417 possono prendere tutte le possibili positure, l'una intorno del punto *a*, e l'altra intorno del punto *b*, senza cessare per questo di attirarsi con la medesima intensità.

Sicchè quando si taglia una solenoide indefinita, si dà origine a due poli, che sono paragonabili in tutto ai due poli, che si otterrebbero rompendo una sbarra calamitata di una grandissima lunghezza.

Quando una solenoide ha una lunghezza determinata, siccome *ab* (*fig. 418*), i due suoi poli *a* e *b* sono manifestamente un polo australe l'uno ed un polo boreale l'altro, conciossiachè guardando l'estremo *a* la corrente è ascendente a diritta, mentre riguardando l'estremo *b* lo è a sinistra. Ora rompendo la solenoide definita si avrebbero risultamenti analoghi a quelli, che danno le solenoidi indefinite, almeno in quanto al senso dell'azione, ma non in quanto all'intensità; chè quivi i secondi poli di ciascuna delle solenoidi, che si ottengono, non più essendo infinitamente lontani, ei si vuole avere ragione dell'azion loro.

Per conseguenza due solenoidi definite siccome *ab* e *a' b'* (*fig. 419*), che operano l'una sull'altra, danno origine, al pari di due calamite, ad un sistema di quattro forze, due attraenti e due repellenti; le forze attraenti si esercitano secondo *ab'* e *ba'*, e le forze repellenti secondo *aa'* e *bb'*.

263. *Calamitazione.* — Nella teorica, di cui ci occupiamo, i corpi magnetici, come il ferro dolce o l'acciaio non calamitato si considerano già aventi delle correnti intorno delle molecole, che li costituiscono; se non che a riguardo loro si è obbligati di fare parecchie ipotesi distinte:

1ª *Ipotesi.* Ammettesi che le correnti essendo indistintamente e confusamente dirette in tutt'i sensi possibili, la totalità delle azioni, ch'esercitano al di fuori è sempre ridotta a zero, dappoichè quelle, che operano in un senso, distruggono sempre l'effetto di quelle, che operano in senso contrario.

2ª *Ipotesi.* Ammettesi che nel punto, in cui una qualsiasi esterna cagione va a far sentire la sua azione sulle correnti, esse dispongonsi tutte o in parte in un ordine dato per obbedire all'azione che le sollecita.

3ª *Ipotesi.* Se il corpo è senza forza coercitiva, come il ferro dolce, ammettesi che, cessando l'esterna cagion di operare, le correnti in virtù della loro azione scambievole ricadono nello stato di confusione di prima: ma se il corpo è di forza coercitiva dotato, come l'acciaro, si ammette al contrario che le correnti, disposte una volta nell'ordine conveniente per formar solenoidi, quest'ordine stesso conservino malgrado le azioni interne, che possono esercitarsi per turbarlo.

Dopo di questo si vede che la calamitazione non è altro; che una disposizione delle correnti, che esistono precedentemente ne'corpi magnetici: se le si girano in un senso, i poli si mostrano in un ordine dato, e se in un senso opposito, i poli si mostrano in senso inverso.

Certamente rimane a fare di belle investigazioni su queste correnti molecolari, o per dimostrare l'esistenza loro in un modo più diretto, o per giungere insino alla cagione, che le produce, o per determinare infine le principali circostanze delle modificazioni, che ricevono dalla parte del calore o degli altri agenti fisici: ma in aspettazione delle stesse ci è paruto necessario esporre con alcuni sviluppi una teorica, la quale stabilisce corrispondenze tanto notevoli tra' fenomeni del magnetismo e quelli dell'elettricità.

CAPITOLO IV.

Cagioni diverse che danno origine a correnti elettriche.

264. Dappoichè le correnti elettriche non sono altro che la ricomposizione di due fluidi contrari; ne risulta che tutte le cagioni, che possono disviluppare elettricità, possono eziandio produrre correnti; perocchè i due fluidi sono sviluppati sempre nel tempo medesimo, e siccome ciascun fluido libero tende di riunirsi ad una quantità eguale di fluido contrario, e' basta che si permetta cotal riunione, perchè sia la corrente prodotta. Ben si potrebbe opinare che il risultamento inverso dee sempre aver luogo, cioè che basta interrompere una qualsiasi corrente per avere le due elettricità opposte nello stato di riposo e di tensione; ma non è possibile sempre il dimostrarlo con l'esperienza, o che i nostri mezzi di osservazione pochissimo siano dilicati, o che in certi casi la circolazione dell'elettricismo debb'essere in realtà una condizione essenziale del suo sviluppo. E senza niente decidere di ciò noi ci restrigneremo ad osservare che tutte le correnti finora cognite debbono l'origine loro a quattro diverse cagioni, cioè: ad azioni meccaniche, ad azioni fisiche, ad azioni chimiche, ad azioni fisiologiche; e noi disamineremo di mano in mano le principali circostanze della loro formazione, ed i processi particolari, onde si possono render sensibili.

Azioni meccaniche.

265. — Lo *strofinio*, la *pressione* e la *spezzatura* son tre generi di azioni meccaniche, le quali possono l'una distinguersi dall'altra relativamente all'elettricismo che sviluppano; comechè non si sappia se imprimano agli atomi o a' gruppi loro molecolari modificazioni realmente diverse.

Lo *strofinio* può esser variato di mille modi; ma nelle macchine ordinarie si è tentato di unire insieme tutte le condizioni più acconce di dare il maximum di effetto. Quando invece di cumulare elettricità su'conduttori si vuol trasformarla in corrente, e' basta allogare un filo di comunicazione tra'conduttori e i cuscini, o soltanto tra'conduttori ed il suolo; allora questo filo è attraversato da una corrente, come se riunisse i due poli di una pila più o meno forte, ed è di fatto bastante di operare sull' ago calamitato. Nondimeno la sua azione è poco energica: una gran macchina producente rapide e brillanti scintille ad una considerevol distanza dà una corrente sì debole, che per comprovarne l'esistenza bisogna un sensibilissimo moltiplicatore: una possentissima macchina di Nairne non dà per esempio che 30 ovvero 40 gradi di deviamento agli aghi compensati di un moltiplicatore di 500 giri (*Colladon, Annali di Fisica e di Chimica*, tomo 23, pagina 62). Importa soprattutto in siffatte esperienze che i diversi giri del moltiplicatore siano l'uno dall'altro ben isolati: e per questo si dee dare al filo una doppia o tripla covertura di seta ed invilupparlo eziandio di taffettà ingommato, o passarlo in un bagno di resina fusa e mischiata di gomma lacca.

Quando gli estremi del moltiplicatore non sono in contatto co' conduttori, ma presentati solo a qualche distanza; la corrente è più debole, e l' intensità sua sembra essere in ragion inversa della distanza; almeno per quelle distanze comprese fra 1 decimetro ed 1 metro.

Se le correnti prodotte dalle macchine son tanto deboli, paragonandole con quelle, che le pile voltaiche danno, questo senza dubbio procede dalla mirabile celerità, onde i fluidi elettrici si trasmettono; e dalla lentezza, onde lo strofinìo le sviluppa. Intanto non è finora dimostrato che l' elettricismo non abbia più di un modo solo di trasmissione attraverso de'conduttori, nè si potrà tale quistione risolvere, se non con la misura esatta delle quantità di fluidi che passano, e degli effetti che li producono.

Numerosi tentativi sono stati fatti per discoprire in che modo accada che lo strofinìo sviluppi elettricità, ma su di

ciò non si è pervenuto a nessuna nozione precisa. Ben si dice che la separazione de' fluidi è dovuta allo scotimento od allo rimovimento delle molecole; ma siffatta spiegazione nulla dice: dappoichè ne' cangiamenti di stato dei corpi, certissimamente vi ha scotimento e rimovimento di molecole, e fra di tanto nessuno elettricismo non è prodotto; sonovi adunque altre condizioni essenziali che non si sanno.

Alcuni fisici in verità suppongono che lo strofinìo, il quale dà elettricismo, sia sempre da un'azione chimica accompagnato, e ch'ei basti questa azione impedire, perchè cessi l'elettricità di prodursi. La quale opinione si fonda principalmente sulla seguente esperienza del dottore Wollaston (*Annali di Fis. e di Chim.* t. 16 pag. 53). Essendosi chiusa una macchina elettrica in un vaso, dove l'aria poteva cangiarsi, ei si vedea lo sviluppo dell'elettricismo cessare o riprendere l'energìa sua, secondochè il vaso era riempiuto di acido carbonico o di aria atmosferica; ma non è questa esperienza bastante a dimostrare strettamente che tutta quanta l'elettricità risultante dallo strofinìo è dovuta veramente all'azione chimica, che esso strofinìo determina, e non già all'azione meccanica, che lo stesso esercita. A risolvere chiaramente tal quistione, ei si dorrebbe comprovar la natura e la quantità dell'azione chimica prodotta dallo strofinìo, e paragonarla alla quantità de'fluidi decomposti.

Ma se ci è impossibile assegnare la verace origine dell'elettricità, che si manifesta con lo strofinìo, almeno noi ci sforzeremo indicare le principali circostanze, che sembrano operare in un modo costante per modificarne lo sviluppo. I numerosi esperimenti, che si son fatti su di ciò, possono essere ristretti nelle proposizioni seguenti:

1° Due qualsivogliano corpi solidi buoni conduttori o cattivi, acquistano sempre mercè lo strofinìo, uno l'elettricità resinosa, la vitrea l'altro, quando si usano tuttavia le convenevoli cautele per asciugarli, renderli isolati, ecc., ecc.

Lo strofinìo che si esercita tra'solidi e i liquidi sembra bastante a sviluppare altresì elettricismo in un gran

numero di casi. Ed il mercurio sotto questo aspetto è probabilmente il più energico de'liquidi.

Senza dubbio lo strofinìo de'liquidi fra di essi anche potrebbe nelle circostanze convenienti sviluppare elettricità.

Lo strofinìo de'gas o fra di essi, o co'liquidi o solidi non pare che in verun caso sviluppi elettricità, almeno quando i gas non siano punto caricati di particelle solide o liquide.

2° Allorchè la temperatura di un corpo s'innalza gli si dà una tendenza a prendere l'elettricità resinosa; e siccome questa tendenza non è la stessa per accrescimenti eguali della temperatura, ne risulta che stropicciando due corpi in temperature diverse, quello ch'è vitreo ad una temperatura più bassa può diventar resinoso ad una temperatura più alta; ne risulta ancora che due pezzi di una sostanza medesima, quantunque simili perfettamente, e prendendo una porzione uguale allo strofinìo, possono dare elettricismo, se sono in temperature diverse, sempre allora prendendo il più caldo l'elettricità resinosa.

3° Lo stato della superficie di un corpo non è senza influenza sulla specie di fluido, che acquista con lo strofinìo: generalmente si nota che le picciole ruvidezze della superficie danno a'corpi e soprattutto a quelli cattivi conduttori una tendenza ad acquistare l'elettricità resinosa. Sicchè stropicciando l'una sull'altra due lamine del vetro medesimo, l'una lisciata e scabrosa l'altra, la prima acquista l'elettricismo vitreo ed il resinoso l'altra: nondimeno sonovi altre cagioni producenti il medesimo effetto, siccome da noi si è indicato pel distene (**192**).

4° Una lamina di metallo acquista sempre l'elettricità vitrea, quando è stropicciata con polvere più o meno fina dello stesso metallo (*Becquerel*, t. 2, pag. 117): se ne fa l'esperienza mettendo a contatto con uno de' piatti del condensatore una picciola coppa, nel quale si riceve la minuta limatura metallica, ch'è stata con maggiore o minore impeto lanciata su di una lamina del metallo medesimo che si tiene in mano; l'elettricismo, di cui si carica il condensatore mostra che la limatura ha acquistata l'elettricità resinosa col rapido suo strofinìo sulla lamina.

5° Due lamine di diversi metalli stropicciati l'un contro l'altro acquistano elettricismo bastante per dare origine ad una sensibil corrente: se ne fa esperienza adattando le lamine a'due estremi del filo di un moltiplicatore, e poscia facendoli scorrere l'un contro l'altro; il senso della deviazione dell'ago indica la specie del fluido, che su ciascuna lamina si sviluppa, ed in tal modo si è potuto formare la seguente tavola, nella quale ciascun metallo è vitreo con quelli che gli vengono appresso, e resinoso con que' che il precedono (*Becquerel*, t. 2, p. 114):

Antimonio.	**Argento.**	**Platino.**
Arsenico.	**Oro.**	**Palladio.**
Cadmio.	**Rame.**	**Cobalto.**
Ferro.	**Stagno.**	**Nickel.**
Zinco.	**Piombo.**	**Bismuto.**

6° La tensione dell'elettricismo sviluppato dallo strofinio è indipendente dalla celerità, dalla pressione, dall' estensione delle superficie in contatto, dalla doppiezza de'corpi stroppicianti e dal modo dello strofinio (*Péclet*, *Ann. di fis. e di chim.*, t. 57, p. 337).

266. La semplice pressione senza strofinio laterale esercita sulle molecole de' corpi un' azione meccanica, la quale non è senza dubbio quella stessa dello strofinio, comechè difficile sia il dir con precisione in che la differenza consista; la pressione fra tanto è pure capace di sviluppare elettricità, siccome abbiamo veduto (**216**).

Il Sig. Becquerel ha costrutto un grande apparecchio per istudiare siffatti fenomeni, e sembra risulti dalle sue numerose ricerche che la quantità de' fluidi sviluppati è proporzionale alla pressione. I liquidi non sono stati sommessi a siffatte prove, ed i gas, che sono tanto eminentemente compressibili non hanno manifestata veruna apparenza elettrica. Del rimanente ci pare che restrignendo ancora questo soggetto ai corpi solidi esso offre forse molto meno importanza che difficoltà : ed è probabile che si produrrebbe una corrente con questa elettricità, prendendo sottilissimi dischi, che si deggiono premere, ed incollandoli sopra lamine di metallo, che sarebbero esse mede-

sime adattate ai due estremi del filo di un convenevole moltiplicatore.

La spezzatura si opera con più o meno facilità nella maggior parte de'corpi lamellati regolarmente cristallizzati, siccome il talco, la mica, la calce solfata, la barite solfata, il feldospato, il topazio ecc. Se si fissano de' manichi isolanti nelle due grandi facce di una sottil lamina di uno di siffatti corpi, e che con uno sforzo particolare dividesi in due nel senso della spezzatura, le due laminette, che ne risultano, sono elettrizzate, l' una vitreamente, resinosamente l'altra (*Becquerel*, t. 2, p. 112).

Senza dubbio queste elettricità sono troppo deboli, perchè si possano trasformarle in una corrente sensibile.

Azioni fisiche.

267. Le azioni fisiche, che si sviluppano dall' elettricismo, sono: le azioni capillari, e le azioni del calore, del magnetismo e dell'elettricità; conciosiacchè finora non ci è dato opinare che l'azione della luce possa in veruna circostanza determinar la separazione de' fluidi elettrici.

268. Il Sig. Becquerel attribuisce all'azion capillare i fenomeni elettrici da lui osservati nelle seguenti condizioni.

Ad uno de' capi del filo di un sensibilissimo moltiplicatore si adatti un cucchiaio di platino riempiuto d'acido nitrico puro, all' altro capo del filo medesimo si adatti una spugna di platino accuratamente lavata con l'acido nitrico, e poscia fino al rosso scaldata; in seguito questa spugna s' immerga nell' acido del cucchiaio, e si osserverà una deviazione nell' ago del moltiplicatore; il senso della corrente mostra che la spugna ha preso l' elettricismo negativo : intanto dopo qualche istanti una contraria corrente si osserva.

Quando l'acido non è disteso che della metà del suo peso di acqua, non si osserva altro che il primo effetto; nè ci ha più corrente inversa.

L'acido cloro-idrico concentrato produce effetti inversi di quelli dell'acido nitrico puro.

Forse che questi fatti son troppo ristretti e troppo complicati, perchè sia lecito conchiudere in modo generico che l'azione capillare sviluppi elettricità.

269. L'azion del calore non si fa sentire sulla turmalina soltanto e su di altri cristalli per renderli elettrici, siccome abbiamo veduto (217), ma si fa sentire eziandio sui corpi buoni conduttori, ed in ispezialtà su' metalli, per isvilupparvi correnti più o meno energiche, le quali sono state nel 1821 scoverte dal dottor Seebeck di Berlino: queste correnti dette *termo-elettriche*, dall'origine loro, stabiliscono a dì nostri sotto il nome di *termo-magnetismo* una delle più importanti branche dell' elettro-magnetismo. E noi qui ne faremo conoscere le principali condizioni, sotto le quali si producono; ma in uno de'seguenti capitoli noi ci sforzeremo di stabilire le leggi notabili della loro intensità.

Le ricerche fatte sulla formazione di siffatte correnti possono restringersi in alcune proposizioni generiche, che noi disamineremo di mano in mano.

Prima proposizione. Essendo saldati capo a capo due fili metallici, in modo da formare un circuito chiuso di qualsiasi figura, si stabilirà nel circuito una corrente più o meno energica, ogni volta che le due saldature sono in temperature diverse, e la corrente dura tanto lungamente, per quanto la differenza delle temperature è mantenuta.

Siffatta proposizione si dimostra per un caso particolare con l'apparecchio rappresentato nella figura 420: *ss'* è un cilindro di bismuto; *s c s'* una sbarra o una lamina di rame ricurva e saldata negli estremi *s* ed *s'* del cilindro di bismuto, *ab* un ago calamitato libero sul proprio perno. Essendo le saldature *s'* ed *s* alla temperatura ambiente, si dirige il piano verticale dell'apparecchio nel meridiano magnetico; allora se per esempio si riscalda la saldatura *s*, l'ago prova una deviazione più o meno considerevole, e se la saldatura medesima *s* si raffredda al

di sotto della temperatura ambiente, l'ago prova una deviazione in senso contrario.

Questi movimenti dell'ago ora in un senso or nell'altro dimostrano evidentemente la presenza di una corrente elettrica, che si diffonde in un senso, quando la saldatura *s* è più calda della saldatura *s'*; e nel senso opposto, quando al contrario la saldatura *s'* è più calda della saldatura *s*. La qual conseguenza è anche rifermata, operando sulla saldatura *s'* in luogo di operare sulla saldatura *s*.

Non tutt'i metalli danno i risultamenti così lampanti del bismuto e del rame; ma in tal caso invece di un ago solo si adopera un sistema di due aghi compensati, come vedesi nella figura 421: la striscia superiore *s c s'* è spaccata, perchè possa l'ago inferiore passare, ed il perno s'innalza fino all'ago superiore.

Perchè si veda che le più impercettibili differenze di temperatura tra il bismuto ed il rame sono bastanti di sviluppare correnti moltissimo energiche, ci si fa uso dell'apparecchio rappresentato nella figura 422.

Da ultimo in un grandissimo numero di esperimenti è mestieri ricorrere all'uso del moltiplicatore; ma i *moltiplicatori termo-elettrici* debbono essere generalmente composti di un filo grossissimo, nè avere che un picciol novero di giri, come spiegheremo più in là (capitolo VI): se per esempio co' due estremi del filo di rame di un tale moltiplicatore toccasi un pezzo di bismuto o di antimonio, si vedrà che la menoma differenza di temperatura nei due punti di contatto determina una considerevole deviazione.

Per istudiare con tal mezzo le correnti termo-elettriche date da due qualsivogliano metalli, siccome il ferro ed il platino, e' basta tagliare in due un filo di platino, ed adattare ciascuna di queste metà a ciascuno de' capi del moltiplicatore, in modo che il contatto sia bene metallico; in tal caso, posto che questi congiungimenti siano precisamente alla stessa temperatura, il moltiplicatore armato de' suoi due capi di platino, godrà le proprietà medesime, che se fosse tutto quanto composto di un con-

tinuo filo di platino, cioè che toccando di presente con un filo di ferro i due estremi del moltiplicatore, si avranno correnti, che non potranno da altro risultare, se non dalla differenza di temperatura de' due punti di contatto del ferro e del platino.

Sottoponendo i diversi metalli a tal prova o ad altre consimili, agevolmente si perviene a dimostrare la proposizione generica da noi enunciata; ma si ravvisa nel tempo medesimo che le diverse coppie metalliche hanno a questo risguardo sensibilità diversissime, dappoichè nelle stesse condizioni, le une danno correnti di grande energia, e le altre correnti oltremodo deboli.

Parimente cogli stessi mezzi si è tentato di mettere in classe i metalli in ragione della tendenza loro ad acquistare l'elettricismo positivo o negativo, ed i risultamenti ottenuti sono nella seguente tavola rappresentati, in cui ogni metallo è positivo con quelli che gli vengono appresso, ed è negativo con tutti quelli che lo precedono:

Antimonio.	Ottone.	Cobalto.
Arsenico.	Rodio.	Palladio.
Ferro.	Piombo.	Platino.
Zinco.	Stagno.	Nickel.
Oro.	Argento.	Mercurio.
Rame.	Manganese.	Bismuto.

Il Signor Becquerel ha osservato che in temperature altissime il ferro, ed il platino mutano andamento: ma questa inversione non pare affatto costante; non avendo io osservato niente di simile in un grandissimo numero di sperimenti, de' quali si discuterà nell' articolo del *Pirometro magnetico*, destinato alla misura delle più alte temperature.

Seconda proposizione. Allorchè si riscaldano, o si raffreddano alcuni punti di un circuito metallico chiuso, e composto di un solo metallo omogeneo, vi si determinano sotto certe condizioni correnti più o meno energiche.

Sembra che il bismuto e l'antimonio siano i metalli più acconci a dimostrare questo notabil fenomeno: sicchè prendendo per esempio un pezzo d'antimonio di una qual-

*

siasi forma, e disponendo su di una delle sue facce un picciolo ago calamitato lievemente sospeso, sempre sul contorno di questo pezzo si trovano molti punti di tal maniera, che riscaldandoli s'imprime all' ago calamitato un sensibilissimo deviamento in un senso o nell'altro: osservazione, che è dovuta eziandio al dottor Seebeck.

Parecchi fisici hanno studiato questo notabile fenomeno: i signori Yelin Cumming e Sturgeon sonosi specialmente applicati a dar forme regolari a pezzi di bismuto ed antimonio, ovvero a comporre siffatti metalli di circuiti rettangolari, ellittici, circolari, ec., ec., per determinare i più efficaci punti e le direzioni delle correnti, che risultano dal riscaldamento o dal raffreddamento di essi punti. Ma ci ci pare finora impossibile di accennare alcun fatto generico o sulla direzione, o sull'intensità di queste particolari correnti; dappoichè simili circuiti e di grandezze differenti danno quasi sempre diversi risultamenti.

Alcuni osservatori attribuiscono questi effetti a gruppi cristallini, che durante il raffreddamento dei metalli si formano, ed impediscono l'uniforme propagazione del calore per tutt' i versi. La quale opinione non è senza fondamento, ma osservazioni più dirette ci sembra essere necessarie per istabilirla in un modo stretto.

Il Signor Becquerel ha dato maggiore estensione a questo notabile fatto; egli ha dimostrato che si applica altresì a dei fili di platino, e facendo l'analisi con la sua ordinaria sagacia delle principali circostanze, che modificano i risultamenti, egli ha stabilito il seguente principio: Allorchè un filo di platino forma un circuito chiuso, e che su di un punto della sua lunghezza si trova un qualsivoglia ostacolo bastante di rallentare la propagazion del calore, se il filo si riscalda ad una picciola distanza da questo punto, si produrrà una corrente, che in siffatto intervallo è diretta verso l'ostacolo, e percorre nel senso medesimo tutta l'estension del circuito.

In tal guisa mettendo i due capi di un filo di platino in contatto co' due estremi di un moltiplicatore, e mantenendo queste congiunzioni esattissimamente alla temperatura medesima per impedire gli ordinari effetti termo-

elettrici si otterranno correnti dirette da *a* in *b*, quando si riscalda in *a* dopo aver ripiegato il filo a spirale in *b*, o dopo avervi fatto un semplice nodo, come vedesi nella figura 423.

Consimili effetti si otterranno col rame, quando esso è alquanto ossidato; sicchè sospendendo in *b* i due capi di un moltiplicatore (*fig. 424*) e riscaldando in *a*, ei si manifesta una corrente da *a* in *b*, quando i fili non sono perfettamente netti (*Becquerel*, t. 2, p. 40).

Intanto il Nobili ha ottenuto correnti inverse con metalli più ossidabili, come il zinco, il ferro, e l'antimonio (*Bibliot. univ. di Ginevra*, t. 27, p. 118).

Azioni chimiche.

270. Le azioni chimiche sono tanto prodigiosamente svariate, che qui non ci può essere quistione di doverle esaminare alla spicciolata per istudiare i fenomeni elettrici che le accompagnano; nondimeno noi accenneremo i fatti più generali, almeno per giustificare con alcuni evidenti esempi questo fondamentale principio, che non pare soffra veruna eccezione, cioè che mai gli elementi materiali non possono unirsi o separarsi chimicamente, senza che vi abbia sviluppo di elettricismo.

Adunque noi ci restrigneremo a dimostrare come si rende sensibile l'elettricismo, che si sviluppa dalla combustione, dall'azione degli acidi su' metalli o sulle basi, dalla reazione delle dissoluzioni le une sulle altre, e da alcune chimiche decomposizioni.

Alcuni fisici avevano da lungo tempo pensato che la combustione debba produrre elettricità, ma questo importante risultamento non era stato comprovato prima della pubblicazione del mia *Memoria sull' Origine dell' Elettricismo atmosferico* (*Ann. di Fis. e di Chim.* t. 35, p. 401); io darò solamente un' immagine sommaria dei processi e dei fatti contenuti in questo lavoro.

Nella combustione del carbone, l'acido carbonico è elettrizzato positivamente, e negativamente il carbone. Per raccorre l'elettricità negativa, prendasi un carbone con-

duttore tagliato a cilindro a basi ben parallele; una di queste basi s'infiamma, e per l'altra si mette capovolto su di una lunga piastra di ottone che comunica col condensatore (*fig.* 425); in tal caso soffiando con una vescica ripiena di aria o di ossigeno, la combustione si mantien sulla base superiore soltanto, ed essendo posto il piatto inferiore del condensatore in comunicazione col suolo, pochissimi istanti bastano a caricar l'apparecchio.

Per raccogliere l'elettricismo positivo, il carbone si dispone verticalmente su di una piastra metallica comunicante col suolo (*fig.* 426), si mantiene come nella precedente esperienza in combustione, e si presenta a qualche distanza al di sotto della piastra di ottone, l'altro piatto del condensatore essendo posto in comunicazione col suolo, l'apparecchio è prontamente caricato di elettricità vitrea, che l'acido carbonico cede alla piastra a misura che s'innalza contro la sua superficie.

Nella combustione dell'idrogeno, l'ossigeno si elettrizza ancora positivamente; e negativamente l'idrogeno. Per raccogliere l'elettricità negativa adattasi alla vescica, che contiene idrogeno, un tubo metallico, che si faccia comunicare col condensatore, ed all'estremità del quale s'infiamma il gas; ancora si può adattare al piatto del condensatore un lungo filo di platino, il cui estremo è ravvolto a spira stretta, e fare accuratamente immergere nell'*interno* della fiamma la totalità della spira (*fig.* 427).

Per raccogliere l'elettricismo positivo dell'ossigeno ci basterà presentare la spira precedente a qualche distanza dalla fiamma (*fig.* 428), ovvero darne un diametro maggiore della fiamma medesima, in modo che possa invilupparla; allora essa acquista l'elettricismo positivo, alla distanza di molti millimetri ancora. Dopo di che s'intende quando i risultamenti debbano essere mutabili ed incerti, quando la spira è parte nella fiamma, e parte al di fuori.

Facendo germogliar delle piante in capsole isolate e nel mezzo di un atmosfera abbastanza asciutta, io ho potuto raccogliere ancora le elettricità, che nel tempo della vegetazione si sviluppano.

Le quali esperienze ed altre consimili menano a questo principio generico: *Ogni volta che l'ossigeno si combina con un altro corpo, ei ci ha sviluppo di elettricismo; l'ossigeno dà sempre l'elettricità positiva, ed il corpo combustibile la negativa.*

Non bisogna stupirsi dopo di ciò se in tutte le decomposizioni chimiche, che seguono per mezzo della pila, l'ossigeno vada al polo positivo ed i corpi combustibili al negativo; conciossiacosachè senza dubio bisogna che questi elementi per separarsi e riprendere lo stato loro libero ricevano precisamente la quantità medesima dello stesso fluido, che hanno sviluppato nel tempo della loro combinazione. Quando gli acidi operano su' metalli, due fenomeni generalmente si producono: il primo è l'ossidazione del metallo, che è in combustione; ed il secondo, che ordinariamente tien dietro al primo, è la combinazione dell' ossido coll' acido, che è ancora analogo alla combustione in questo, che l' acido gode sempre la medesima categoria dell' ossigeno, mentre l'ossido gode quella del corpo combustibile; adunque bisogna aspettarsi uno sviluppo di elettricismo più o meno considerevole, nel tempo che questi fenomeni hanno effetto.

Parecchi fisici fra' i quali vogliono specialmente citarsi i Signori Avogrado, Becquerel, De la Rive e Nobili sono di fatto pervenuti intorno a ciò a scoperte di gravemomento: ma siffatte ricerche appartengono troppo da vicino alla chimica, perchè ci sia lecito esporle minutamente, e noi dobbiamo limitarci alle più generali conseguenze dei loro risultamenti.

Immergendosi i due estremi del moltiplicatore in un acido che attacca il rame, incontanente si vedrà l'ago agitarsi e manifestar la presenza di una corrente moltissimo energica; la quale muta direzione da un momento all'altro; ed il modo più efficace per imprimerle una direzione costante pare che sia il tenere uno de' fili in riposo nell'acido mentre l'altro è vivamente agitato: il quale effetto procede dalla disuguale azione chimica, che l'acido esercita sopra i due fili, per sottoporre un' altro metallo alla stessa prova, basta prenderne due pezzi ciascuno at-

taccato all'estremità dell'uno dei fili del moltiplicatore, e prendere le convenevoli cautele, perchè non vi sia dissuguaglianza di temperatura delle due congiunzioni del metallo col moltiplicatore; allora essendo i due pezzi immersi nell'acido, si osservano le correnti, che risultano dalla totalità delle azioni chimiche, che si esercitano tra il metallo e l'acido.

Adunque due fili di oro puro essendo semplicemente ritorti intorno ai due estremi del moltiplicatore, e poscia immersi nell'acqua regia, si ottiene una corrente sensibilissima la quale può essere anche fatta più energica, immergendo questi fili d'oro ad una distanza molto grande l'una dall'altra, e versando alcune gocce d'acido idroclorico intorno ad uno de'fili soltanto: ed in questo caso l'azione chimica è realmente dissugualissima; chè fin dal principio essa è viva su l'uno de'fili, ed è nulla nell'altra.

Il Signor Becquerel per osservare le correnti, che risultano dall'azione di un'acido su di un alcali, versa l'acido in un cucchiajo di platino, e prende con una pinzetta di platino il briciolo di soda o di potassa, che vuol sottoporre alla prova; essendo allora la pinzetta ed il cucchiaio posto in comunicazione con gli estremi del moltiplicatore, ei s'immerge l'alcali nell'acido per rendere il circuito compiuto.

In tutte le azioni di tal natura, che possono senza fine variarsi, costantemente si osserva che l'elemento acido sviluppa l'elettricità positiva, e l'elemento basico la negativa.

Allorchè in una dissoluzione salina un elemento cede il suo posto ad un altro, sempre si osservano effetti elettrici consimili ai precedenti: così quando in una dissoluzione di solfato di rame, s'immergono a qualche distanza l'una dall'altra due lamine attaccate ai due capi del moltiplicatore, l'una di zinco e l'altra di rame, si osserverà una corrente moltissimo energica, e si vedrà nel tempo stesso il zinco passare allo stato di solfato di zinco per prendere il posto del rame, e questo sulla lamina del rame ravvivarsi.

Ancora può darsi più intensità alla corrente disponen-

do nel modo che segue l'esperienza, come ha fatto il Signor Becquerel, che fè il primo l'analisi di tutti questi fenomeni chimici con felicità pari alla sua perseveranza (*Ann. di Chim. e di Fis.*, *t. 41.*, *p. 1*). In un vaso di vetro o di porcellana dispongasi un tramezzo con una membrana di vescica; da un lato mettasi una soluzione di solfato di zinco ed una lamina di zinco, e dall' altro una soluzione di solfato di rame ed una lamina di rame, la reazione è quasi nulla, finchè tra questi liquidi non ci sia altra comunicazione fuor di quella stabilita dal tramezzo; ma non appena le lamine di zinco e di rame sono ligate fra loro da un qualsivoglia metallo, dal filo per esempio di un moltiplicatore, il zinco è vivamente attaccato mentre il rame del solfato di rame è ravvivato sulla lamina stessa di rame; nel tempo medesimo si produce una corrente moltissimo energica, la qual rimane costante, se si ha cura di aggiungere solfato di rame solido per mantenere la dissoluzione nel medesimo punto di saturazione.

E su questo principio è stato costrutta una pila non meno notabile per la potenza sua, che per la costanza dei suoi effetti: l' uno degli elementi di siffatta pila è rappresentato nella figura 466, esso componsi di un cilindro cavo minutissimo di rame rosso *a* stivato con sabbia *b* e da tutte parti chiuso; il fondo inferiore *c* è piano, ed il superiore *d* è conico; al di sopra di questo s' innalza un orlo *e*, forato di molti pertugi *f*; questo cilindro s' implica in una vescica *g* la quale va a ligarsi intorno dell'orlo *e*, ma di sopra dai buchi *f*. Sul cono *d* si versa una soluzione saturata di solfato di rame, che scorre dai buchi e va a riempiere tutto lo spazio compreso tra la vescica ed il cilindro; in seguito sul cono medesimo si mettono de' frammenti di solfato di rame, che si rinnovano a misura che si disciolgono nel liquido il qual deve sempre alquanto bagnarli: un manico di zinco *h*, che è nella sua lunghezza spaccato per allargarsi a piacere, è immerso in una dissoluzione di solfato di zinco o di cloruro di sodio contenuto in un vaso *i* di vetro o di faenza; il cilindro di rame si mette nel manico di zinco, e le due strisce di rame *p* ed *n*, saldate l'una al cilindro e l'altra al manico, rappresentano i due

poli dell'elemento; appena stabilita fra di esse una comunicazione metallica si ottiene una corrente di una grandissima intensità.

Per cagion d'esempio una pila di sei elementi simili può fare divenir rosso un filo di platino 12 o 15 centimetri lungo e del diametro di più di $\frac{1}{10}$ di millimetro; essa può operare per cinque o sei ore con una costante intensità; e ciò che l'impedisce di operare più lungamente è il rame ravvivato, che si attacca al cilindro e termina col riempere la vescica.

Per distinguere le pile di tal sorta noi le chiameremo pile tramezzate; e s'intende bene che ci si può formarne delle consimili colla maggior parte dei metalli, posti in contatto con le dissoluzioni loro (9).

Qui sarebbe il luogo di esaminare la quistione dello sviluppo di elettricismo per solo contatto, conforme la teorica del Volta da noi adottata (*n.ri 220 e seguenti*). Questa quistione è stata vivamente dibattuta in questi ultimi tempi, alcuni fisici hanno attaccato la teorica del Volta con un gran numero d'importantissimi esperimenti: il Signor Augusto De la Rive da Ginevra si è soprattutto distinto in tal controversia, dimostrando in un modo strettissimo, che in un gran numero di casi l'elettricità, ch'erasi attribuita al contatto, è in realtà dovuta ad azioni chimiche perfettamente evidenti; da un'altra parte il Signor Pfaff ha sostenuto con molto accorgimento l'antica teorica. Ma senza entrare più in tale discussione, la quale ci menerebbe assai lungi nel dominio della chimica, noi faremo osservare che i fenomeni termo-elettrici non possono in alcun modo ad azione chimica riferirsi; ed essi bastano a dimostrare che col contatto de' corpi eterogenei possono col mezzo del calore svilupparsi almeno effetti elettrici di una grandissima intensità.

Questo è il solo motivo che ci ha determinati a conservare eziandio la teorica del Volta nell'esposizione delle prime esperienze galvaniche; ma ora ci è impossibile dubitare che in tutte le pile idro-elettriche, onde abbiamo parlato, se l'azione chimica non è la cagione esclusiva dello sviluppo dello elettricismo, essa non sia per lo me-

no la più efficace cagione, e di vantaggio la più predominante. Sicchè nella pila tramezzata dianzi descritta se il contatto concorre allo sviluppo dell'elettricismo, esso non vi concorre al certo, che per una porzione infinitamente picciola dell'intera quantità dell'elettricismo, ch'è posta in circolazione, siccome in uno de'seguenti capitoli osserveremo, dove indicheremo i mezzi di paragonar tra di loro le quantità di elettricismo che costituiscono le correnti.

I fenomeni elettrici, che nelle decomposizioni chimiche si sviluppano, sono precisamente inversi di quelli, che si sviluppano nel tempo della composizione o della combinazione degli elementi. Il quale risultamento generico è stato stabilito nella mia seconda *Memoria sull'Origine dell'Elettricità atmosferica* (*Annali di Chimica e di Fisica*, t. 36, pag. 1). Dopo aver dimostrato che i cangiamenti di stato de' corpi mai non danno verun segno elettrico, io fo vedere che l'elettricismo apparisce, tostochè in una dissoluzione si abbiano elementi chimici, che si separano. Il mio apparecchio è il condensatore rappresentato nella figura 425: se non che alla piastra d'ottone può essere sostituita un'asta terminata in un anello; sulla piastra o nell'anello dell'asta si dispone un crogiuolo di platino precedentemente portato ad una temperatura più o meno alta, da 40 ovvero 50 gradi, insino al rosso o al rosso bianco, ed in sì fatto crogiuolo si schizzano alcune gocce delle soluzioni, che si vogliono sottoporre alla prova: gli elementi volatili sviluppandosi ci ha separazione chimica e sviluppo di elettricismo; la carica del condensatore alcune volte è sì grande, ch'ei si osserva senza far comunicare col suolo, e senza che le lamine di oro siano spinte contro le pareti della campana, quasi subito che il liquido cada nel crogiuolo.

Nelle soluzioni alcaline il vapore acqueo ha l' elettricismo negativo, e l'alcali il positivo.

Nelle soluzioni acide al contrario l' acqua è positiva e la soluzione rimanente è negativa.

Il Signor Becquerel operando con altri processi ha comprovato che nelle composizioni doppie non esistono segni elettrici (t. 2, p. 81): di fatto se la decomposizione

tende a sviluppare una certa quantità di fluido, la ricomposizione tende a sviluppare una quantità uguale di fluido contrario; sicchè versando una dissoluzione di nitrato di barite in una dissoluzione di solfato di potassa, nè la dissoluzione di nitrato di potassa, nè il precipitato di solfato di barite non dovranno essere elettrizzati.

Azioni Fisiologiche e pesci elettrici.

271. Per rendere compiuto l'esame delle diverse cagioni, che possono sviluppare elettricità, noi dobbiamo fare ancora parola dei *pesci elettrici*, e de' fenomeni straordinarii ch' essi presentano.

Da lunghissimo tempo è noto che la torpedine ha la proprietà d' intorpidire la man che la tocca; alcune fiate la commozione è tanto violenta da determinare nella lunghezza del braccio una dolorosa paralisi, che dura parecchi minuti, e che si può paragonare a ciò che si prova quando si batte il cubito. Altre volte per ispiegare questi effetti dicevasi che la torpedine *scaglia molecole che intorpidiscono*, o che opera siccome una *molla* che scatta, o come un *corpo sonoro* ch' è in rapida vibrazione (*Rèaumur*, *Accademia delle Scienze*, 1714). Ma, quando Muschenbroeck risentì la prima volta gli effetti della bottiglia di Leida, ebbe la felice idea di paragonare siffatta commozione a quella della torpedine, e di attribuire in tal modo alla cagione medesima fenomeni, la cui origine pareva tanto diversa: ed è allora soltanto che la torpedine ed altri consimili pesci, che si chiamavano generalmente *tremoli*, furono detti giustamente *pesci elettrici*; ora se ne annoverano 7 appartenenti a diversi generi: *Torpedo narke risso*; *T. unimaculata; T. marmorata; T. galvanii; silurus electricus; Tetraodon electricus*; *gymnotus-electricus.*

Ora qual è l'origine della prodigiosa quantità di elettricismo, che questi pesci possono dare? È una quistione di gravissima importanza che sventuratamente sembra essere stata negletta da' più diligenti osservatori: intanto noi siamo inclinati di ammettere che siffatta elettricità è

il risultamente di un'*azione fisiologica particolare*; conciossiacchè nella totalità de'fatti noti niente non troviamo, che ci autorizzi di opinare che sia prodotta da azioni meccaniche o dal calore, ovvero da azioni chimiche simili a quelle testè da noi esaminate; purtuttavia nell' impossibilità di stabilire siffatta opinione sopra basi sicure per mancanza di esperienze dirette, noi quì non intraprenderemo veruna discussione di ciò, e ci staremo contenti a fare il sunto de' principali fenomeni, che sonosi osservati sulla torpedine e sul gimnoto.

272. *Proprietà della torpedine.* — Noi siamo debitori a Walsh delle prime ricerche alquanto precise sopra gli effetti della torpedine; le sue esperienze furono fatte nella Roccella il 1772 ed all'isola del Rè (*Giornale di Fisica*, *t.* IV, *p.* 205); ei trae le seguenti conseguenze.

Quando la torpedine è nell'aria la commozione si riceve toccando direttamente una qualsiasi parte della sua pelle o con un dito solo o con tutta la larghezza della mano.

Si ricevono del pari le commozioni toccandola con un buon conduttore; per esempio con un'asta di metallo lunga parecchi piedi.

La commozione è arrestata da tutt'i cattivi conduttori; sicchè la torpedine può impunemente toccarsi con vetro, resina, ecc.

Ancora si può toccarla senza pericolo con una piccola striscia di stagno incollata sopra vetro, posto che nello stagno vi sia una soluzione di continuità tanto picciola che si possa farla con la punta di un temperino.

Quando molte persone *non isolate* si tengono per la mano e che la prima sola tocca la torpedine, la commozione si farà sentire alla seconda ed anche alla terza, ma essa scema d'intensità.

La commozione si fa sentire in un cerchio di venti persone non isolate, che si tengono per mano, quando la prima persona tocca la torpedine sotto al ventre, mentre l'ultima la tocca sul dorso, o *viceversa*.

Ecco i principali risultamenti che si ottengono nell' aria; forse l' ultimo esperimento riuscirebbe toccando

due qualsisiano punti, che non siano contrari, come sembra richiedere Walsh, senza dubbio per l'analogia che cerca di stabilire tra le bottiglie di Leida e le torpedini. Le commozioni hanno sempre minore intensità nell'acqua che nell'aria, ma esse si producono eziandio nello stesso modo e sotto le condizioni medesime. Essendo l'acqua un buonissimo conduttore, si comprende che una torpedine viva ed energica possa operare in distanza, e che in tal caso non faccia mestieri direttamente toccarla. In fatti Walsh ha osservato ch'essa *fulmina* in distanza piccoli pesci, od almeno che gli stordisce o gli ubbriaca:

In tutt'i casi la commozione, che la torpedine lancia, è un fenomeno volontario per essa: e spesso accade che la si tocchi in diverse volte senza niente ottenerne; ma quando s'irrita pungendola nelle pinne, si è quasi certo di ricevere colpi replicati; Walsh ha contato insino a cinquanta scariche in un minuto.

I Signori Becquerel e Breschet hanno fatto molte osservazioni importantissime nelle torpedini di Chioggia non lungi da Venezia (*Becquerel*, t. 4, p. 364) essi hanno comprovato per cagione d'esempio per mezzo di un buon galvanometro che la corrente va sempre dal dorso al ventre passando per il galvanometro, ed hanno del pari verificato che la torpedine può far passare ad arbitrio la scarica per tali o tali altri punti delle sue superficie superiori ed inferiori.

Il Signor Matteucci, il quale ha fatto anche più recentemente delle graziosissime esperienze sulle torpedini dell'Adriatico, ha trovato il mezzo di rendere la scintilla perfettamente visibile: egli applica per questo due armature metalliche, l'una nel dorso, e l'altra sul ventre della torpedine; poi dispone nel tempo medesimo due foglie d'oro l'una molto accosta dell'altra, e ciascuna della quale è posta in comunicazione con l'una delle armature: nel qual caso non appena s'irrita la torpedine, si vede brillar la scintilla tra le due sfoglie d'oro.

Parimente il Sig. Matteucci ha rifermato l'importante osservazione de' Signori Becquerel, e Breschet sul senso della corrente; ed ha comprovato dal canto suo che il dorso è positivo e negativo il ventre (10).

Ei ci duole di non poter dare particolari più ampli su queste diverse ricerche, che porgerebbero senza dubbio molta luce sulle proprietà elettriche e fisiologiche della torpedine.

273. *Proprietà del gimnoto.* — Il gimnoto elettrico, che dicesi ancora *anguilla di Surinam*, è dotata di una potenza elettrica ancora più grande di quella della torpedine. Walsh fece venire de' gimnoti da Surinam, sui quali confermò i risultamenti, che aveva ottenuti dalla torpedine alcuni anni prima, ma dippiù egli fece questa notabile osservazione, che la commozion del gimnoto può trasmettersi dall' uno all'altro conduttore, per traverso ad una picciola lamina di aria, ed allora vedesi brillare una scintilla elettrica. (*Giorn. di Fis.*, t. VII, p. 305).

Il Sig. Di Humboldt fece nell' America insieme col Sig. Bonpland un gran numero di esperimenti sul gimnoto. Ecco ciò che egli riferisce nell'opera sua delle abitudini di questo pesce particolare e dei mezzi di pescarlo.

» Noi partimmo di buon mattino il dì 9 marzo pel picciol villaggio di *Rastro de Abaxo*: quindi gl' Indiani ci condussero ad un ruscello, che nel tempo di siccità forma un bacino d' acqua limacciosa circondata di belli alberi, di clusia; di amiri, e di mimose con fiori odoriferi. La pesca del gimnoto con fili è difficilissima per l'estrema agilità di questi pesci che s' affondano nel limo come serpenti. Non si volle adoperare il *barbasco*, cioè le radice del *pis cidia erithryna*, del *jacquinia armillaris* e di alcune specie di *phyllanthus* che gittate nel pantano inebbriano o intorpidiscono gli animali il quale espediente avrebbe indebolito i gimnoti. Gl' Indiani ci dicevano che essi andavano a *pescare con cavalli*. Noi penammo a farci un' immagine di questa strana pesca; ma incontanente vedemmo le nostre guide ritornare dalla selva, dove avevano fatto una conquista di cavalli e di muli indomiti; essi ne condussero una trentina, che sforzammo ad entrar nel pantano.

» Il rumore straordinario prodotto dallo scalpitar dei cavalli fece uscire dal limo i pesci e gli eccitò a combattere. Queste anguille giallastre e livide, simili a grandi

serpenti acquatici nuotano nella superficie dell'acqua e si serrano contro il ventre dei cavalli e dei muli; una lotta fra animali di una orga izzazione tanto diversa offre lo spettacolo più pittoresco. Gl' Indiani armati di ramponi, e di canne lunghe e sottili cingono strettamente il pantano: alcuni di essi salgono sopra agli albori, i cui rami si estendono orizzontalmente al di sopra della superficie dell'acqua; co' loro selvaggi gridi e colla lunghezza delle loro verghe essi impediscono ai cavalli di salvarsi toccando la riva del bacino. Le anguille stordite dal fracasso si difendono con la replicata scarica delle loro batterie elettriche e sembra per lungo tempo che riportino vittoria. Parecchi cavalli soggiacciono alla violenza de' colpi invisibili; che ricevono da tutte parti negli organi più essenziali della vita; storditi dalla forza e dalla frequenza delle commozioni scompariscono sotto l'acqua; altri anelanti coi crini irti cogl' occhi inferociti ed esprimenti l'angoscia si rialzano e cercano sottrarsi alla tempesta che loro vien sopra. Ma sono dagl' Indiani respinti in mezzo dell'acqua. Nondimeno un picciolo numero giunge ad ingannare l' attiva vigilanza de' pescatori; si veggono guadagnare la riva, di ogni passo inciampare, distendersi sulla sabbia morti della fatica e con le membra indolentite dalle commozioni elettriche dei gimnoti. »

» In men di cinque minuti due cavalli erano annegati. L' anguilla essendo lunga cinque piedi è premendo il ventre dei cavalli fa una scarica in tutta la estensione del suo organo elettrico: essa attacca ad un tempo il cuore le viscere ed il plesso ciliaco de' nervi addominali. Natural cosa è che l' effetto provato dai cavalli sia più potente di quello, che lo stesso pesce produce sull' uomo, quando nol tocca, che con una delle sue estremità. Probabilmente i cavalli non sono uccisi ma storditi soltanto. Ma essendo nell' impossibilità di rialzarsi per la lotta prolungata fra gli altri cavalli e i gimnoti, si annegano.

» Noi non dubitavamo che la pesca non si finisse con la morte successiva degli animali, che vi si adoperavano. Ma a poco a poco l' impetuosità di questo dissuguale combattimento sminuisce: i gimnoti stanchi si disperdono; ed hanno

bisogno di un lungo riposo e di uno abbondante nutrimento per riparare alla forza galvanica da essi perduta: i muli ed i cavalli comparvero meno spaventati, nè più rizzavano la criniera, gli occhi loro esprimevano meno terrore: i gimnoti si accostavano con timore alla riva dei pantani dove si presero col mezzo di piccioli ramponi attaccati a delle corde lunghe. Essendo le corde bene asciutte, gl' Indiani non sentono affatto commozione sollevando il pesce nell'aria. Ben cinque grandi anguille in pochi minuti noi avemmo, la maggior parte delle quali non erano che lievemente ferite; altre furono prese collo stesso metodo verso sera.

» La temperatura delle acque in cui i ginnoti abitualmente vivono è di 26° a 27°. Assicurano che la forza loro elettrica nelle acque più fredde diminuisce (11); e generalmente è notabilissimo, siccome ha già osservato un celebre fisico, che gli animali dotati di organi elettromotori i cui effetti diventono sensibili all' uomo, non si trovano nell' aria, ma sì in un fluido conduttore dell'elettricismo. Il gimnoto è il più grande de' pesci elettrici, ed io ne ho misurati alcuni che erano cinque piede a cinque piedi e tre pollici lunghi. Gl' Indiani assicuravano di averne veduti anche più grandi. Noi abbiamo rinvenuto che un pesce ch'era tre piedi e dieci pollici lungo, dodici libbre pesava. Il diametro trasversale del corpo (senza calcolare la pinna nuotatoria anale ch' è prolungata in forma di carena) era tre pollici e cinque linee. I gimnoti del *Cano* di Bera sono di un bel verde di uliva: il di sotto della testa è giallo mischiato di rosso; due ordini di picciole macchie gialle son poste simmetricamente lungo il dorso dalla testa insino all' estremo della coda; ciascuna macchia racchiude un foro escrementizio: in tal modo la pelle dell' animale è sempre coperta di una materia mucosa, la quale, com'erasi provato dal Volta, conduce l' elettricismo venti in trenta volte meglio dell' acqua pura. Generalmente è degnissimo di osservazione che veruno dei pesci elettrici rinvenuti finora nelle diverse parti del mondo non sia ricoperto di scaglie. »

Il Signor de Humboldt operando su tali pesci, le cui

batterie sono tanto potenti, non ha potuto discoprire alcuna azione diretta sui più sensibili elettrometri, nè alcun fenomeno di luce elettrica.

274. *Dell' organo elettrico.* — L'organo, in cui ne' diversi pesci elettrici, si sviluppa l'elettricismo ha sensibilmente la stessa tessitura e le stesse apparenze, quantunque diverso nella forma nella grandezza e nella disposizione. Noi ci sforzeremo soltanto di dare un' immagine dell' organo della torpedine, che è stato l' oggetto delle più precise investigazioni. Quest' organo si divide in due parti simmetricamente situate da ciascun lato della testa ed appoggiato alle branchie, esse occupano entrambe tutta la doppiezza, che separa le due pieghe della pelle. Facendosene la sezione si vedrà che è composto di un tessuto cellulare estremamente debole, con maglie larghe, che ha quasi la forma di un cilindro, o meglio di un prisma a cinque o sei facce. Un paragone notabilmente esatto se ne fa dicendo che rassomiglia alle celle di un' arnia; se non che i tramezzi non sono membrane sottili, ma piuttosto fibbre separate, tese, e in sensi diversi.

Ordinariamente in ogni organo si contano quattro in cinquecento di questi piccioli prismi, e pare che Hunter gli abbia una volta numerati fine a mille cento ottantadue. Essi sono quasi perpendicolari alla direzione della pelle, alla quale sono tenacemente attaccati co' due loro estremi. Se si osserva partitamente la struttura di ciascuno di siffatti prismi, si discernerà un gran numero di sottili lamine perperdicolari all'asse, l'una separata dall'altra, e disposte in fine come i diversi elementi di una pila. Questi piccioli fogli distinti, ora piani ora ineguali sono divisi da strati mucosi molto aderenti; ma premendo un organo non se ne può fare uscire alcuna sensibile quantità di fluido.

Quattro fasci nervosi di un gran volume vengono a distribuirsi nell' organo, e secondo il Sig. Matteucci la sede della potenza elettrica sembra essere nel gonfiamento che dà loro origine.

In verità questa organizzazione ha corrispondenze manifestissime con le pile del Volta; ma bisognerebbero osservazioni anotomiche più precise, esperienze fisiche e fisiolo-

giche più numerose, per far giungere sino all'evidenza siffatte analogie, che si appresentano in un modo tanto seducente; soprattutto bisognerebbe sforzarsi di riconoscere se il cumolo dell'elettricismo negli organi elettrici sia il risultamento di un'azione fisiologica volontaria; e distinguere, se cade in acconcio, le influenze sotto le quali l'apparecchio si carica, e quelle sotto le quali si scarica con modi che paiono essenzialmente diversi. Senza dubbio gli è ciò che ulteriori esperienze non tarderanno di farci conoscere.

CAPITOLO V.

Fenomeni d' induzione.

275. *I Fenomeni d'induzione* risultano da un'azione oltremodo notabile, che le correnti esercitano sopra i corpi conduttori per isvilupparvi correnti particolari nel punto in cui detti corpi conduttori si accostano alle correnti, e nel punto in cui se ne allontanano. Questi fenomeni sono stati scoverti nel 1831 dal Sig. Faraday, e meritano la massima attenzione, sia per la loro importanza teorica, sia per le numerose serie di fatti, de'quali danno il principio. Le correnti novelle, che sono in tal modo eccitate ne'corpi conduttori dall'azione e dell'influenze di qual siasi corrente sono state dette *correnti d' induzione*; potrebbero ancora chiamarsi *correnti istantanee* o *temporanee*, dappoichè non durano che un atomo; e volendosi designarle rispetto all' origine loro, come si è fatto per le correnti termo-elettriche, o idro-elettriche, potrebbero dirsi *correnti magneto-elettriche* o *correnti elettro-elettriche*, dappoichè debbano l'origine loro o al magnetismo o all'elettricismo. Pur tuttavia noi serberemo il nome di *correnti d' induzione*, che pare adottato dalla maggior parte de' fisici, e noi ci sforzeremo di esporre la totalità dei risultamenti generici, ai quali si è giunto finora sù di questo soggetto.

276. Dapprima noi dimostreremo una proposizione generica, la quale contiene esattamente i fatti più fondamentali dell'induzione, ed è la seguente:

Allorchè un circuito conduttore chiuso comincia *in alcuno de'punti suoi a ricevere l'azione di una qual siasi corrente*, *esso è attraversato da* una corrente inversa; *quando* cessa *di ricevere quest' azione*, *è attraversato da* una corrente diretta; *da ultimo* per tutto il tempo *che detta azione riceve* in un modo costante, *non*

è attraversato da veruna corrente, *nè prova alcuna modificazione apparentemente sensibile.*

Noi accenneremo gli esperimenti, co' quali si dimostra la verità di tal proposizione, quando il circuito chiuso è sottoposto all' azione di una calamita, o a quella di una corrente, o all'azione della terra.

1° *Circuito sottoposto all'azione di una calamita.* Un filo metallico rivestito di seta 100 in 200 metri lungo e ravvolto ad un rocchetto di legno o di metallo (*fig.* 429) la cui apertura interna è abbastanza grande per ricevere una calamita; i due estremi di questo filo comunicano coi due estremi di un galvanometro bastantemente lontano, e nel punto, in cui s'introduce il polo di una calamita nell' interno del rocchetto, si vedrà l'ago del galvanometro con maggiore o minor forza deviato; ma esso torna incontanente in riposo per tutto il tempo, che la calamita rimane a suo posto, e togliendosi via la calamita, esso di nuovo si agita nel senso opposto. Il deviamento dell' ago dà il senso della corrente d'induzione, che attraversa il circuito composto del galvanometro e del rocchetto. Ed è agevol cosa il riconoscere che questa corrente è inversa, e cammina in senso contrario di quello della calamita, quando la calamita *comincia* ad operare, e che è diretta e cammina nel senso medesimo di quello della calamita, quando la calamita *cessa* di operare o quando la si ritrae dal rocchetto.

Allorchè il galvanometro è sensibilissimo, ei non fa mestieri di avvolgere un filo tanto lungo intorno al rocchetto; ed alcune volte può farsi anche a meno di un filo ripiegato sù di se stesso, e mostrarc in un modo più semplice l'effetto con un filo solo, che congiunge i due capi del galvanometro per chiudere il circuito: allora accostando prontamente a questo filo una calamita per quindi allontanarla e ravvicinarla, seguiranno delle oscillazioni moltissimo apparenti nell'ago del galvanometro. Ben s' intende che tal sorta di esperienze possono essere senza fine svariate.

2° *Circuito chiuso sottoposto all'azione di una corrente.* Intorno ad un rocchetto simile al precedente si avvolgono nel tempo stesso due fili coperti di seta (*fig.* 431)

destinati l'uno a far passare la corrente da una pila più o meno forte, l'altro a ricevere l'azione *induttiva* di essa corrente; per conseguenza gli estremi di questo secondo filo sono congiunti coi due estremi del filo del galvanometro. Stabilite le comunicazioni si fa passar la corrente pel primo filo, ed incontanente l'ago del galvanometro appalesa nel secondo filo una corrente d'induzione inversa, cioè che cammina in senso contrario della corrente induttrice, poscia ritorna a zero e rimane stazionaria: ma quando si rompe il circuito della pila, esso devìa nuovamente e manifesta nel secondo filo una corrente d'induzione diretta, cioè procedente nel senso medesimo di quel della pila.

3° *Circuito chiuso sottoposto all'azione della terra.* Alcuni fenomeni si sono ottenuti sottoponendo alla sola azione della terra de'fili ravvolti a spirali più o meno lunghi, o piegati a rettangolo, la cui posizione alternatamente si muta (*Ann. di Chim.*, t. 50, p. 116 e 124; *Bibl. universale*, t. 49 p. 136); ma questi fenonomi non sono stati ancora compiutamente analizzati, perchè si possano discutere in questo luogo. (12)

Nella prima delle esperienze da noi indicate, il circuito chiuso comincia a ricevere l'azione della calamita, a misura che la calamita si avanza, e cessa di riceverla nel punto che questa si allontana. Ma l'azione magnetica può incominciare e cessare in altro modo: può essa incominciare nel punto che i fluidi magnetici si decompongono, e cessare nel punto che si ricompongono; or la proposizione generica si applica ancora a questo caso, siccome si vedrà dalla seguente sperienza:

ab è una forte calamita a ferro di cavallo (*fig.* 430); *mcn* è un pezzo di ferro dolce anche piegato a ferro di cavallo, le cui due branche sono inviluppate di un gran numero di giri di un filo stesso; il senso del filo dev'esser tale, che facendovi passare una corrente le due branche *m* ed *n* acquistino poli contrari; i due estremi di questo filo si riuniscono ad una convenevol distanza dal ferro e dalla calamita, ed un semplice ago calamitato è sottoposto all'azione di questo circuito chiuso. Nel qual caso accostan-

dosi con moltissima prontezza la calamita *a b* alle due branche *m* ed *n*, l'ago appalesa una corrente inversa, ed allontanandola una corrente diretta. Adunque la decomposizione, e ricomposizione de' fluidi magnetici sviluppan correnti inverse e dirette nel circuito chiuso, che è sottoposto alla loro azione.

Agevol cosa è il vedere che non è l'influenza diretta de'poli sulle piegature del filo, la qual dà origine a questa corrente d'induzione; imperochè questa corrente acquista tale intensità, che accostando solo i due estremi del filo ad una brevissima lontananza l'uno dall'altro si vedrà brillare tra loro una viva scintilla, sia quando la calamita *b* si accosta al ferro dolce *m c n*, sia quando se ne allontana; questa scintilla elettrica è adunque prodotta dalla sola azione magnetica. Del pari tenendo con la mano nuda il filo si riceve una commozione, la quale, se la calamita è molto potente, può essere paragonata a quella di una picciola bottiglia di Leida.

Le correnti, che in tal modo si sviluppano dalla decomposizione e ricomposizione de' fluidi magnetici, sono abbastanza forti, perchè una sbarra di ferro dolce circondata da un filo a spirale ecciti in questo filo una corrente moltissima intensa, allorchè dopo averla situata nella direzione dell'ago d'inclinazione, girasi in modo che si metta giù l'estremo che era in alto, o *vice versa*.

Nella seconda delle esperienze, che serve a dimostrare la proposizione generica, la corrente induttrice comincia ad operare, quando la corrente comincia a percorrere il primo filo, e cessa quando la corrente cessa; il perchè si potrebbe supporre che gli effetti sono prodotti da alcune modificazioni, le quali accompagnano o lo stabilimento o la cessazione della corrente.

Il Signor Faraday per togliere i dubbi di mezzo ha dimostrato con alcune esperienze che si ottengono esattamente gli stessi risultamenti, allorchè trovandosi una corrente stabilita in un modo durevole in un filo, ei si accosta o si allontana da questo filo induttore un altro filo destinato a ricevere l'induzione.

Ancora, quando noi diciamo che l'azione *comincia* su di un circuito chiuso bisogna intendere o che la corren-

te induttrice s'incomincia a stabilire col fatto, o che essendo già stabilita in un modo permanente comincia ad operare, poichè si accosta più da presso al circuito chiuso, producendo questi due moti di azione effetti precisamente consimili. Del pari quando noi diciamo che l'azione *cessa* su di un circuito chiuso, ei bisogna intendere o che la corrente conduttrice effettivamente cessa, perchè cessa di esistere, o che cessa di operare, perchè si allontana dal circuito chiuso.

277. *Reazione delle pieghe di una spirale.* — Alla proposizione generica che poco fa noi abbiamo sviluppato noi dobbiamo aggiungere ancora un fatto, che fuor di dubbio se ne potrebbe direttamente dedurre, se meglio si conoscessero le condizioni meccaniche del movimento dei fluidi, che costituiscono le correnti.

Questo fatto è l'accrescimento di splendore o più tosto lo sviluppo notabilissimo, che la scintilla elettrica acquista, quando si rompe un circuito composto di un gran numero di circonvoluzioni del filo medesimo, prossimissima l'una all'altre.

Immaginiamo una pila ordinaria composta di una dozzina di elementi anche debolissimi: non s'ignora che essa non potrà dare, se non una picciolissima scintilla, quando si uniranno i due fili, che le fanno da poli, o quando si andranno a separare dopo averli uniti per qualche momento. Questa scintilla sarà notabilmente la stessa, se si aggiugne al circuito un filo di 100, o 200 metri estesi in linea retta, o piegato sopra sè stesso in modo, che le pieghe siano l'una dall'altra lontane di alcuni millimetri: ma se questo filo addizionale è piegato a spirale, o avvolto ad un rocchetto, allora si osserva una scintilla senza paragone più larga quando va a rompersi il circuito; il suo splendore è decuplo, o forse centuplo di quel ch'era dapprima. E senza dubbio questo notevole fenomeno non può essere attribuito fuorchè alla reazione, che le diverse pieghe dell'elica esercitano fra di loro nel momento che cessa la corrente.

Nel tempo stesso che la scintilla si sviluppa in tal modo, la commozione, che si riceve nella rottura della

corrente, acquista parimente una straordinaria intensità. Ecco alcune esperienze, le quali faranno meglio vedere quando ci ha in questo fenomeno d'importante.

Per mezzo delle correnti il ferro dolce può essere trasformato in una calamita di una potenza grandissima: queste calamite particolari, le quali traggono la forza loro solo dalla presenza della corrente, possono farsi e disfarsi in un attimo, quante volte si vuole, bastando a ciò di far passare la corrente ed interromperla; e per questa ragione si chiamano *elettro-calamite*. Le figure 432 e 433 rappresentano un' elettro-calamita, che io ho costrutto nel 1831, e che di leggieri mantiene meglio di mille chilogrammi, quando la corrente le si comunica con una forte pila di 24 paia: essa è composta di due ferri di cavallo opposti, formati con delle sbarre rotonde del diametro di 8 a 10 centimetri, e dell'intera lunghezza di 60 ad 80 centimetri; le due branche di ciascun ferro da cavallo sono inviluppate di circa mille metri di filo di rame due terzi di millimetro doppi. La stessa corrente è quella, che attraversa di mano in mano i due mila metri di filo, ma le spirali sono in tal guisa formate, che i due poli di nomi contrari si trovano in cospetto. Appena stabilita la corrente, l'elettro-calamita stabile *a b* innalza l'elettro-calamita mobile *a' b'*, ed esse si applicano l'una contro l'altra con tanta forza, che si può caricare l'assicella *etc* (*fig. 432*) di uno enorme peso, che spesso oltrepassa mille chilogrammi. Quando dopo si rompono le comunicazioni, cacciando fuor del mercurio i due estremi *n* e *p* del filo di due mila metri, si vedrà brillare una larghissima scintilla, mentre la pila stessa appena dà una scintilla visibile, e se si prendono colle mani alquando umide questi 2 estremi per cacciarli fuor del mercurio, si riceverà una commozione quasi fulminante, siccome io ho sperimentato nelle mie lezioni l'anno 1832 per trascuratezza, o più tosto senza sapere che avesse a prodursi un simile effetto; ed io credo, questa esperienza, essere la prima sulla quale si sia osservato il considerevole sviluppo della scintilla e l'intensità della commozione (*bull. della Soc. filom.* Anno 1831, pag. 117).

Il Sig. Masson ha studiato gli effetti di questa commozione, ed ha immaginato una disposizione felicissima per riprodurla prestamente ad intervalli vicinissimi. A questo effetto egli adopera una ruota dentata di metallo ordinario, il cui asse è parimente metallico, ed alla stessa imprime un moto di rotazione più o meno celere per mezzo di una ruota e di una girella. L'uno de' poli della pila comunica coll'asse della ruota, l'altro comunica con l'uno dei capi del filo di un' elettro-calamita, mentre l'altro capo dello stesso filo schiacciato a molla va a toccare i denti della ruota. In tal modo quando la ruota è in riposo passi o nò la corrente, secondo che la molla tocca un dente o trovasi posta nell' intervallo di due denti successivi; egli è lo stesso per tutto quel tempo che la ruota è in moto, quindi facendosi muovere si ha una corrente intermittente. Ora è facile fin dal principio vedere che nel punto dell' intermittenza, quando cioè la molla lascia un dente per passare all' altro, in questa interruzione di continuità si produce una larga scintilla. In seguito mettendosi una mano sull' asse della ruota e l' altra sulla molla, ad ogni intermittenza si prova una scossa vivissima, dappoichè allora i due bracci rendono compiuto il circuito, in cui deve passare la corrente d' induzione, la quale da una parte risulta dalla ricomposizione dei fluidi magnetici dell' elettro-calamita, e da un' altra parte dalla reazione di diversi giri della spira gli uni sugli altri. Durante il contatto della molla coi denti della ruota, il corpo per la cattiva conduttibilità sua non è attraversato, se non da una corrente oltremodo debole, la quale non può produrre veruna commozione.

Il Sig. Masson ha dimostrato, che con una pila debolissima bastano alcuni minuti per fulminare un gatto, esponendolo, come testè dicemmo, alle replicate scosse della corrente d' induzione. Purtuttavia gli effetti dipendono dalla lunghezza del filo dell' elettro-calamita e dalla celerità di rotazione della ruota dentata; conciossiachè nell' apparecchio di cui si tratta una celerità troppo grande affievolisce l' intensità delle scosse fino al punto di renderle quasi nulle (*Rendi Conti dell' accad. delle scienze*, t. 4, p. 456).

278. *Apparecchio elettro-motore producente tutti gli effetti della pila.* — Dietro ciò che noi dicemmo delle leggi generali delle correnti d'induzione, ei si comprende quanto sia agevole, quantunque di natura loro istantanee, di renderle in qualche modo continue, per meglio osservare tutt' i fenomeni di cui sono capaci di produrre. Di fatto rappresentando *a* e *b* (*fig. 434*) il polo australe ed il polo boreale di una calamita ordinaria, immaginiamo che al di sopra di questa calamita trovasi un'elettro-calamita, della quale per maggiore semplicità, noi non rappresentiamo altro, che gli estremi inferiori *m* ed *n*, come pure l' asse verticale *c*, intorno del quale può girare, ed esaminiamo per esempio i fenomeni, che si producono nella branca *m*, nel tempo, ch' essa descrive un' intera circonferenza partendo dalla posizione *m'*, e passando di mano in mano in *m*, *n'* ed *n* : da *m'* in *m* il fluido boreale del ferro dolce di questa branca è attirato; il fluido australe è respinto, e ne risulta nel filo una corrente inversa della corrente del polo australe *a*; da *m* in *n'* tendendo i due fluidi di ricomporsi, la corrente diviene diretta; da *n'* in *n* il fluido australe è attirato, la corrente è inversa di *b* e quindi la medesima che in *n'*; da *n* in *m'* il fluido australe tende di ricomporsi, la corrente è diretta con *b* ed inversa di *a*: dal che finalmente procede che in tutta la semicirconferenza compresa tra *m* ed *n* la corrente del filo della branca *m* passando per *n'* cammina in un senso, e che in tutta la semicirconferenza compresa tra *m* ed *n* passando per *m'* cammina in senso inverso. E ciò che abbiamo detto della branca *m* si applica alla branca *n*. Adunque per aver una corrente continua o presso che, ei basta imprimere all'elettro-calamita un moto di celere rotazione, e raccogliere la corrente soltanto, che si produce durante il passaggio dell'una delle sue branche per l'una delle semicirconferenze comprese tra *m* ed *n*; ovvero ancora raccogliere la corrente, che nelle due semicirconferenze si produce, ma mutandone la direzione per mezzo di una leva perchè giunga nei corpi dove si vuol farla operare.

Siffatti principi sono stati prima di ogni altro comprovati da Pixii figlio in un grande apparecchio, che egli ci ha

costrutto per la Facoltà delle scienze; ma in seguito altri costruttori hanno stabiliti apparecchi più portabili, e noi qui ci faremo a descrivere quel del Signor Clarke, che offre il vantaggio di produrre effetti grandi, come che brevissimo in dimensioni. (13)

L'apparecchio di Clarke è rappresentato nelle figure 435 e 436, e si compone principalmente di una calamita stabile a ferro di cavallo, della quale non si vede che una metà *a c* nel taglio della figura 435: dinanzi da questa calamita gira l'elettro-calamita *m n*, una branca della quale vedesi in elevazione, l'altra di taglio; le sue armature sono fatte solo con 40 metri di un filo di rame avente almeno 1 millimetro di doppiezza, questa elettro-calamita si attacca a vite sull'asse di rotazione, che è posto esso medesimo in moto dalla gran ruota *d* e dalla picciola girella *f*, sulla quale passa la corda *g*.

L'uno degli estremi del filo, che forma l'armatura, comunica con l'asse *h*, e l'altro estremo con la specie di ghiera *i*, la quale è isolata dall'asse: così l'asse *h* e la ghiera *i* sono i due poli di questa pila novella. Nel sostegno *k* rappresentato di prospetto (*fig. 436*) si trovano due picciole casse di rame *r* ed *s* ripiene di mercurio: quando le casse comunicano per mezzo del filo *t* e che nel tempo stesso la picciola molla *x* conduce alla cassa *r* l'elettricismo della ghiera *i*, manifesta cosa è che i due poli della pila si trovano l'uno sull'asse *h* e l'altro nell'estremo del filo *y*. Allora innalzando sull'asse il picciol pezzo eccentrico *z* il contatto cessa, quando i due soli lati scappano al filo *y*, ed ad ogni semirivolgimento si vedrà brillare una scintilla vivissima; perchè si ottenga il massimo effetto, il contatto deve cessare quasi quando l'elettro-calamita è verticale.

Ancora può all'apparecchio adattarsi un picciolo pezzo (*fig. 437*) avente un filo di platino sottilissimo e corto, il quale diviene sensibilmente rosso per effetto del passaggio della corrente.

E del pari può adattarsi all'estremo dell'asse un pezzo a due punte (*fig. 438*), che dà scintille bellissime, quando le sue punte nel tempo delle rivoluzioni loro toc-

cano il mercurio contenuto in un vaso di metallo comunicante con l'altro polo dell'apparecchio; ed in fine si può dello stesso modo accendere facilissimamente dell'etere.

Per ottenere effetti chimici e fisiologici bisogna all'elettro-calamita precedente sostituirne un'altra, le cui armature siano formate di un filo sottilissimo lungo 1500 metri. Allora al pezzo eccentrico *z* si sostituisce ancora sull' asse il pezzo *u* (*fig. 439*) il quale non istabilisce la comunicazione tra i poli che per una semicirconferenza; con questo mezzo l'idrogeno, e l'ossigeno si trovano separati.

Da ultimo prendendo in ciascuna mano i cilindri di commozione (*fig. 440*) dopo averli posto in contatto co' due poli dell'apparecchio per mezzo di fili più o meno lunghi, si ricevono commozioni, le quali diventano insoffribili, quando il moto di rotazione è assai celere.

279. *Fenomeni magnetici che sembrano svilupparsi ne'corpi conduttori, quando si movono sotto l'influenza delle calamite.* — Noi siamo debitori della scoverta di questi fenomeni al Signor Arago, de' quali il Signor Faraday dà una felicissima spiegazione, considerandoli come fenomeni d' induzione. Noi riferiremo dapprima le principali osservazioni del Signor Arago, e poi tenteremo d'indicare in seguito in qual modo il Signor Faraday sia giunto a spiegarle.

L'apparecchio del Signor Arago adoperato nelle sue ricerche è rappresentato nelle figure da 441 a 444. *h* (*fig. 442*) è un oriuolo tutto di rame, fuorchè due o tre piccioli perni che sono di acciajo; esso è situato sopra un tripode di legno solidissimo, che può essere posto a piombo per mezzo di viti calanti. Questo orologio è destinato ad imprimere un moto di rapidissima rotazione ad un asse verticale *x* (*fig. 443*): l' asse comunica il moto ad un pezzo *t t'* a tre branche, il quale è rappresentato più in grande nella figura 444; e su questo pezzo si aggiustano i dischi che deggiono servire alle esperienze, essi si centrano da se medesimi per mezzo di un picciol foro, che riceve il prolungamento dell'asse di rotazione, e sono fermati nel loro contorno sulle branche del pezzo *tt'* da un picciolo pezzo mobile, che chiude una vite di pressione, possono met-

tersi ad arbitrio tre ventole *v*, le quali più o meno s'inclinano, secondo il grado di velocità, al quale si vuole fermarsi. Ora rimane di sottoporre l'ago all'influenza del disco girante. Il perchè si colloca intorno dell'oriuolo una tavola a quattro piedi *pp'*, perforata nel suo centro da una apertura alquanto più grande de'dischi; sotto quest'apertura s'incolla un foglio di carta *ll'* (*fig. 442*), e sulla tavola stessa si dispone una campana *c*; in cui l'ago *gg'* si sospende per mezzo di un filo di seta *f*. L'ago può essere elevato abbassato girando il verricello *t* in un senso o nell'altro.

Il peso di piombo *k* mette l'oriuolo in moto; un bottone serve a fermarlo ed uno indicatore segna il numero dei giri; che possono essere 8 ovvero 10 per secondo; havvi eziandio una campana che ad ogni centinaio suona, e con ciò si può agevolmente riconoscere l'istante, in cui la velocità di rotazione è divenuta quasi uniforme.

Intanto ecco i fenomeni che si osservano: stando tutto in riposo ed essendo l'ago diretto nel meridiano magnetico, girasi il bottone che serve per fermare ed il disco comincia a moversi; la sua velocità di rotazione è dapprima picciolissima, ma acquista un rapido acceleramento, e l'ago è incontanente deviato, come se tendesse di seguire il disco ne'suoi successivi rivolgimenti. Nondimeno questa forza di trascinamento è bilanciata in parte dalla forza magnetica della terra, che richiama l'ago nel meridiano; di modo che la corrispondenza di queste forze determina la posizione di equilibrio. La forza trascinante del disco cresce insieme con la sua velocità di rotazione: quindi per una velocità debole l'ago fermasi per esempio a 10° di deviazione; per una velocità maggiore a 20°; e si può in tal guisa modificando le velocità e mantenendole uniformi fermar l'ago in tutte le posizioni oblique rispetto al meridiano da 0 fino a 90°. Ma appena la velocità è abbastanza grande per trascinar l'ago al di là di questa deviazione di 90°, ei non ci ha più alcun punto di riposo: l'ago gira col disco, e tende di prendere da sè medesimo tutta la velocità di rotazione, da cui è animato. Questa è la forza magnetica sempre crescente, che acquistano i corpi in moto. Ora ecco ciò che si osserva rispetto alla stessa.

Questa forza decresce a misura che la distanza aumenta: dappoichè l'ago, che gira con un moto *continuo*, quando è separato dal disco sol dalla doppiezza di un foglio di carta che chiude la campana, non prova altro, quando s' innalza gradatamente, che *determinate deviazioni*, decrescendo sempre, a misura che la distanza diventa maggiore. Ma s' intenderà bene che la velocità di rotazione del disco rimane la stessa in tutte queste prove comparative.

Questa forza medesima dà origine a tre componenti:

La prima è *perpendicolare ai raggi del disco*, ed è quella testè esaminata da noi;

La seconda è *perpendicolare al piano del disco*: se ne comprova l'esistenza per mezzo di un ago verticale sospeso ad uno dei raggi pesatori di una bilancia; quest'ago è sempre respinto qualunque sia de' suoi poli che si trovi al di sopra del disco girante e vicino ai suoi orli.

La terza opera nel *senso dei raggi del disco*, e se ne riconoscono gli effetti nel modo seguente: si dispone un ago d'inclinazione in modo che sia verticale, ed il suo piano di rotazione passi pel centro del disco; allora rimovendolo su di un raggio medesimo, la punta dell'ago può corrispondere a tutt' i punti di esso raggio o del suo prolungamento. Ora quando la punta dell'ago cade fuori del disco, è respinta lungi dal centro di rotazione; questa forza repellente decresce siccome l' ago si avvanza verso il centro, ed è nulla ad una certa distanza da questo punto, ed in seguito si cangia in forza attrattiva per tornare ad essere nulla nel centro medesimo.

In tal modo sopra ciascun raggio del disco havvi un punto fra la circonferenza ed il centro, dove la forza in parola è nulla; al di là e repellente, e più dappresso al centro è attraente. Gli è ciò che viene indicato nella figura 443, dove le linee punteggiate segnano le pristine direzioni del ago.

I Signori Herschel Babbage stabiliscono in un travaglio bellissimo su tale soggetto l'ordine seguente per l' azione di diversi metalli. Quella del rame è presa per unità.

Rame	1, 00	Zinco	0, 03
Stagno	0, 46	Antimonio	0, 09
Piombo	0, 25	Bismuto	0, 02

L'argento sembra dotato di una gran forza, di debolissima l'oro; il mercurio è posto fra l'antimonio e il bismuto.

Quando un disco offre soluzioni di continuità o delle fessure nel senso de'raggi, perde una gran parte della sua forza; e questa notevole osservazione è dovuta eziandio ai Signori Herschell e Babbage, e che chiudendo gli orli con qualunque metallo, anche con bismuto, quando il disco è di rame, gli si restituisce quasi la totalità della forza che aveva perduta. Ma riempiendo solo questi intervalli con polvere metallica ben premuta, o con liquidi come l'acqua o l'acido solforico, non si giunge a riparare sensibilmente le sue perdite d'intensità.

Infine i Signori Herschell e Babbage han dimostrato ancora questi due fatti: 1° che i tramezzi di sostanze magnetiche (cioè non magnetiche a guisa del ferro o dell'acciaio) non esercitano alcuna influenza, quando son posti fra l'ago calamitato e i dischi giranti; 2° che un disco in moto non ha alcuna potenza per trasportare un disco in riposo: il che prova che non è proprio il movimento, che decompone i fluidi magnetici, e ch'esso non opera, se non per ingrandire gli effetti de' fluidi precedentemente decomposti.

Il Signor Barlow ha comprovato che il ferro in moto opera come gli altri metalli, ma con molto maggiore energia.

Ora ecco i principi secondo i quali questi fenomeni e tutti gli altri consimili, sembrano spiegarsi nel modo più soddisfacente.

Quando invece di un ago mobile al di sopra del disco girante sospendesi una calamita fissa ed efficacissima, tosto si riconosce che il disco è attraversato da correnti elettriche, la cui direzione è notabilissima: e sembra che Nobili ed Antinori abbiano fatto l'analisi più compiuta di siffatte correnti (*Ann. di Chim. e Fis.*, t. 50, p. 280). Noi per maggior semplicità non considereremo che un

polo solo (*fig. 445*); indicando la freccia *f* il senso di rotazione del disco, di leggieri coi due estremi del filo del galvanometro si osserva che da ciascun lato del polo vi sono delle correnti, il cui senso è dinotato dalla direzion delle frecce. Adunque si vede che le parti del disco, le quali giungono sotto il polo, acquistano delle correnti opposte a quelle, che costituiscono la calamita nel punto più prossimo, e che per l'opposito le parti del disco, le quali sono passate di sotto dal polo e che se ne allontanano, acquistano delle correnti procedenti nel senso medesimo di quelle della calamita, ne' punti che sono i meno lontani dalle stesse, conforme la proposizione generica (**276**).

Allora si comprende che le attrazioni e le ripulsioni, le quali si stabiliscono tra queste correnti d'induzione e le correnti costitutive delle calamite, che qui sono le correnti induttrici, di necessità debbono dare origine a forze bastanti di muovere le calamite, quando esse son mobili. Facendosi difatto l'analisi compiuta di queste forze, tutti si riproducono i risultamenti scoverti dal Signor Arago e dagli altri osservatori. Per ciò che risguarda il senso de' movimenti l'analisi è facile, e qui sarebbe inutile svilupparla: ma per quello che risguarda l'intensità degli effetti prodotti, egli è impossibile tentarla col solo aiuto de' risultamenti conosciuti finora.

Il magnetismo terrestre non può non esercitare sui dischi giranti un'azione consimile a quella delle calamite; di fatto parecchi osservatori hanno comprovato l'esistenza delle correnti, che lo stesso sviluppa, quando la rotazione de' dischi succede in piani più o meno inclinati al meridiano magnetico: ma siffatti fenomeni non sono ancora stati variati e discussi con tutta quell'attenzione, che meritano (14).

Intanto noi non possiamo lasciare questo subbietto, senza ricordare ancora la conseguenza generica, la qual si deduce dalla totalità de' fatti da noi riferiti: questa è che sia quasi impossibile far che si muova un corpo conduttore, senza svilupparvi delle correnti d'induzione più o meno intense, sia per mezzo dell'influenza delle calamite o delle sostanze magnetiche, che si approssimano al corpo, sia per mezzo dell'influenza del magnetismo terrestre il quale fa dappertutto sentire la sua azione.

CAPITOLO VI.

Leggi generali dell' intensità delle correnti elettriche.

280. Noi ci sforzeremo di presentare in questo capitolo i più essenziali punti delle investigazioni da noi fatte sulla misura delle correnti elettriche, soprattutto con lo scopo di dare una immagine de' vari processi di sperimento da noi praticati, e di fare intendere le leggi generiche, alle quali siamo giunti. Noi tratteremo separatamente delle correnti termo-elettriche, delle correnti idro-elettriche e della determinazione della quantità di elettricismo, ch' è necessaria a decomporre un grammo di acqua.

Correnti termo—elettriche.

281. *L'intensità della corrente è la stessa in tutt' i punti di circuito che attraversa.* — Facendosi passare una corrente termo-elettrica in un circuito composto di fili di diversi metalli e di diversi diametri, l' intensità della corrente è sempre la stessa in tutt' i punti del circuito; per dimostrarlo possono disporsi i differenti fili del circuito orizzontalmente sur una linea perpendicolare al meridiano magnetico, e far oscillare un ago medesimo calamitato di sopra a' vari punti, che si vogliono esaminare. Se in ciascuna esperienza si pone mente a situare l'ago esattamente di sopra al filo ed alla stessa distanza dal suo asse, si troverà ch' esso fa dovunque il numero medesimo di oscillazioni nel tempo medesimo; dal che risulta chiaro che l' intensità è dovunque la stessa.

Il circuito si può dirigere ancora nel meridiano magnetico, e ricondurlo sopra sè stesso, in modo che di ogni punto vi abbiano due correnti contrarie; allora presentando un ago ordinario di declinazione in un qualsiasi punto di questa linea doppia, è agevole a riconoscere che

non è mai deviato, e quindi che le correnti contrarie hanno dovunque intensità uguali.

La sorgente elettrica, che ci pare più commoda per siffatte sperienze e per le seguenti, è un cilindro di bismuto rappresentato nella figura 446, alle due estremità del quale viene saldato un filo di rame lungo 1 metro, una delle saldature è mantenuta per esempio a o, e l'altra a 100°, poi si compie ad arbitrio il circuito con qualsivogliano fili.

282. *L'intensità della corrente è in ragione inversa della lunghezza del circuito ed in ragion diretta della sua sezione.* — Rimanendo la sorgente elettrica la medesima, ed il circuito essendo altresì composto della sostanza medesima, l'intensità della corrente è in ragione inversa della lunghezza del circuito, ed in ragion diretta della sua sezione. Si prendano per dimostrar ciò due cilindri simili, gettati nella stessa forma, e si dispongano, come rappresenta la figura 447; indi scelgasi un rocchetto di filo di rame affatto omogeneo e coverto di seta, a ciascuno estremo de' cilindri si unisca un metro di questo filo; allora per conoscere l'eguaglianza delle 2 sorgenti elettriche, le correnti loro si fanno passare in senso inverso in un galvanometro differenziale (**237**), i cui fili siano uguali perfettamente. Se l'ago rimane immobile, le sorgenti saranno uguali, dapppoichè i due circuiti sono identici. Ciò posto un altro galvanometro si costruisce con filo dello stesso rocchetto, prendendo due capi diversi, l'uno per esempio di 8 metri, e l'altro di 98. Queste lunghezze aggiunte alle 2 sorgenti termo-elettriche, due circuiti daranno: l'uno avente una lunghezza totale di 10 metri del filo medesimo, più la lunghezza del bismuto, la quale può esser negletta, come appresso vedremo; l'altro avente una lunghezza totale di 100 metri. Col circuito di dieci metri si fanno due giri sopra un quadro del moltiplicatore e venti giri col circuito di 100 metri; allora facendo passare le correnti in senso inverso l'ago rimane immobile. Adunque il circuito 10 volte più lungo è in realtà 10 volte più debole, dappoichè deve operare con un numero di giri dieci volte maggiore per compensare l'effetto del più corto circuito. Del

pari possono paragonarsi circuiti aventi fra loro qualsivogliano corrispondenze di lunghezza, ma bisogna che i fili siano del tutto omogenei, il che non accade sempre, dappoichè delle volte sullo stesso rocchetto si trovano delle parti vicine, che hanno conduttibilità notabilmente diverse.

E con lo stesso processo si giunge a comprovare che l'intensità è proporzionale alla sezione, sia componendo l'uno de' circuiti con tre o quattro fili consimili, sia prendendo un filo più grosso, dal quale siasi *tirata* una parte in un filo più fino, sia ancora facendo un filo a lamine per dimostrare che la superficie non ha veruna influenza. Parimente di leggieri si riconosce che l'estensione della saldatura, purchè tutt' i suoi punti acquistino affatto la temperatura medesima, non modifica in niente i risultamenti.

283. *Conduttibilità de' diversi metalli.* — Per determinare la relativa conduttibilità de' diversi metalli, si fa uso di un sensibilissimo galvanometro differenziale, e di due uguali sorgenti termo-elettriche della precedente sperienza (*fig.* 447): *ab* e *cd* (*fig.* 448) siano i capi dei cilindri di bismuto, *e* il galvanometro differenziale, *f* un regolo partito 2 o 3 metri lungo, *g* un filo di platino teso sul regolo, ed *h* il filo di prova, la cui conduttibilità si vuol paragonare con quella del filo di platino. Questi fili diversi sono disposti come sulla figura si vede, dall'altra parte adempiono alle seguenti condizioni :

1° Le correnti delle due sorgenti passano in senso contrario nel galvanometro ;

2° I circuiti sarebbero nello stesso modo composti e dovrebbero essere perfettamente uguali, se le lunghezze del filo di platino e del filo di prova fossero ridotte a zero;

3° La lunghezza del filo di platino può mutarsi ad arbitrio, e per questo si conduce ad indebolire la sua corrente per quanto il filo di prova *h* indebolisce la sua.

Il filo di platino per adempiere quest' ultima condizione è disposto come nella figura 449 : il peso *p* gli dà una tensione costante, ed il cursore *i*, che è un pezzo di sughero, lo lascia passare in una fenditura longitudinale ; ma il filo del galvanometro si fissa con un pò di ce-

ra sopra l' orlo del cursore, e mette capo col filo di platino nel mercurio che riempie la cavità centrale. Rimovendo il cursore a dritta o a sinistra, si diminuisce o si accresce la lunghezza del filo di platino, e con facilità si perviene a ricondurre a zero l'ago del galvanometro. Trovato una volta un tal punto, ei basta di muovere il cursore di alcuni millimetri per imprimere all' ago una sensibile deviazione; in tal modo è impossibile ingannarsi sulla lunghezza del filo di platino, ch' è bastante ad equilibrare il filo di prova.

Allora conoscendo la sezione e la lunghezza del filo di prova, la sezione e la lunghezza impiegate dal filo di platino, agevol cosa è di paragonare le loro conduttibilità: imperocchè, se questi fili hanno lo stesso diametro, la conduttibilità loro è manifestamente proporzionale alla loro lunghezza; e, se hanno la stessa lunghezza, la è in ragione inversa delle sezioni. Generalmente dinotando con x la conduttibilità del filo di prova, con s' la sua sezione e con l' la sua lunghezza; poi con 1 la conduttibilità del filo di platino, con s la sua sezione e con l la lunghezza, che bisogna dargli per equilibrare il filo di prova; ei si avrà:

$$x = \frac{l'}{l} \cdot \frac{s}{s'}$$

Le sezioni si determinano con grande esattezza, misurando i diametri de' fili con lo sferometro.

Siccome il platino non è mai puro, ei m' è paruto necessario di riferire tutte le conduttibilità a quelle del mercurio distillato. Al che in vece del filo di prova si adopera un tubo di vetro perfettemente cilindrico, ed il cui diametro si determina con dei pesati; gli estremi di questo tubo *a b* (*fig.* 456) vanno a metter capo in due turaccioli o più tosto in due vasi di vetro assai larghi *c* e *d*, e l' esperienza come la precedente si compie. La seguente tavola contiene i risultamenti da tal processo ottenuti.

Tavola della conduttibilità de' metalli.

Nomi delle sostanze.	Diametro del filo.	Lunghezze sottoposte all' esperienza.		Conduttibilità.	
	mm.		mill.	mm.	mill.
Palladio	0, 176	1900	1200	500	5791
Argento 963 di fino.	0, 174	2000	1500	200	5152
Argento 900.	0, 194	id.	id.	id.	4753
Argento 857.	0, 178	1200	800	400	4221
Argento 747.	0, 179	1200	600	«	3882
Oro puro.	0, 176	600	300	«	3975
Oro 951.	0, 176	600	300	«	1338
Oro 751.	0, 176	400	200	«	714
Rame puro.	0, 182	2000	1000	500	3838
Id. ricotto	id.	id.	id.	id.	3842
Platino.	0, 186	800	600	300	855
Ottone	0, 182	«	«	«	200 / 900
Acciaio fuso	«	«	«	«	800 / 500
Ferro	«	«	«	«	700 / 600
Mercurio.	«	«	«	«	100

Il palladio, il platino, l'oro, l'argento ed il rame sono stati purificati alla moneta: io li deggio alla benevola amistà del Signor d'Arcet e del Signor Brèand; gli altri metalli sono stati presi nel commercio, o preparati direttamente e legati in diverse proporzioni.

Si vede bene che il palladio è il più conduttore dei metalli; poi vengono l'argento l'oro ed il rame: il più cattivo conduttore de'corpi da me sperimentati è il mercurio; la sua conduttibilità è quasi sessanta volte meno di quella del palladio.

La presenza delle sostanze straniere altera notevolmente la conduttibilità; e questo sarebbe un eccellente mezzo di riconoscere la purezza de' metalli.

L'ottone, l'acciaio ed il ferro sono stati sottoposti ad un gran numero di esperimenti; io ho riferito i limiti soltanto, fra quali tutt'i risultamenti sono compresi.

La temperatura non ha che una debole influenza sulla conduttibilità di certi corpi: per esempio da 0 a 100°

il mercurio solo di alcuni centesimi varia: ma fra gli stessi limiti il ferro e l'acciaro provano una prodigiosa varietà, spesso la conduttibilità loro è ridotta al terzo; il semplice calor della mano produce effetti sensibilissimi, e, ciò che più mirabile sembra, basta far diventare rossa una estensione di alcuni millimetri sulla lunghezza di un filo di ferro o di acciaro, perchè la sua conduttibilità diventi tre o quattro volte minore.

La conduttibilità del bismuto non può essere con grande esattezza determinata, essendo difficilissimo tirarne delle aste esili di una grande lunghezza, soprattutto quando debbono essere omogenee dello stesso diametro; non dimeno i saggi da me fatti a questo riguardo mi han dimostrato che i cilindri simili a quelli della figura 446 non sono equivalenti, se non ad alcuni centimetri di un fil di rame di $\frac{1}{2}$ millimetro di diametro: ed appunto dalla cattiva conduttibilità del bismuto sono stato indotto a non usarlo mai, fuorchè in cilindro di una sezione grandissima, essendo solo sotto tale condizione possibile di trascurar la lunghezza, che nel circuito rappresenta. I cilindri avendo col fatto 25 millimetri di diametro e circa 300 millimetri di lunghezza, ben si vede che la loro sezione è 2500 volte più grande di quella di un filo di rame di $\frac{1}{2}$ millimetro; epperò se il bismuto avesse la medesima conduttibilità del rame, il cilindro di 300 millimetri non affievolirebbe la corrente più che un filo di rame $\frac{1}{2}$ millimetro doppio e $\frac{3}{25}$ di millimetro lungo; e se il bismuto avesse una conduttibilità 100 volte minore del rame, questo cilindro non sarebbe eziandio equivalente che a 12 millimetri di un filo di rame $\frac{1}{2}$ millimetro doppio.

Ci serviranno questi principi ad esprimere con una semplicissima formola l'intensità della corrente prodotta da una qualsiasi sorgente termo-elettrica, posto che non s'ignorino le sezioni, le lunghezze, e le conduttibilità delle diverse parti del circuito, che questa corrente dee traversare.

284. *Intensità della corrente in un circuito semplice ed omogeneo.* — Essendo l'intensità di una corrente termo-elettrica in ragion inversa della lunghezza del circui-

to ed in ragion diretta della sua sezione e della sua conduttibilità, manifesta cosa è che, se ad una medesima sorgente termo-elettrica si presentano l'un dopo l'altro due circuiti diversi,

L'uno avente una lunghezza l, una sezione s, ed una conduttibilità c,

L'altro avente una lunghezza l', una sezione s', ed una conduttibilità c',

Si avrà:

$$x = t. \frac{s'}{s}. \frac{c'}{c}. \frac{l}{l'}$$

disegnando con t l'intensità della corrente, che si sviluppa nel primo circuito, e con x quella che si sviluppa nel secondo, essendo la seconda uguale alla prima moltiplicata per la corrispondenza diretta delle sezioni, per la corrispondenza diretta delle conduttibilità, e per la corrispondenza inversa delle lunghezze. Di fatto diventa doppia o tripla della prima, se, le altre cose rimanendo le stesse, solo la corrispondenza delle sezioni, o quella delle conduttibilità diventa doppia o tripla, o se la corrispondenza delle lunghezze è soltanto $\frac{1}{2}$ o $\frac{1}{3}$ ec., ec.

In tal modo, perchè la seconda corrente sia uguale alla prima, basta che si abbia:

$$s'. c'. l = s. c. l',$$

condizione, che può essere adempiuta di un gran numero di maniere.

285. *Intensità della corrente in un circuito semplice ed eterogeneo.*

Supponiamo per esempio che si presentano l'un dopo l'altro ad una medesima sorgente termo-elettrica due circuiti diversi;

L'uno omogeneo avente una lunghezza l una sezione s ed una conduttibilità c;

L'altro eterogeneo e composto di diverse parti successive, cioè per esempio formato con un filo di rame, dopo un filo d'oro, poi un filo di ferro, di argento, di palladio ec., ec.

Sia per la 1. parte di questo circuito: l'' la lun. s'' la sezione, c'' la condut.
per la 2. parte..... l''' idem s''' id. c''' id.

La corrente d' intensità uniforme, che attraversa tutte le parti e tutti gli elementi di questo circuito ha la medesima intensità, che se attraversasse un altro circuito omogeneo della lunghezza l', di sezione s', e di conduttibilità c; ed è agevole di trovare la lunghezza incognita l', che dovrebbe avere questo novello circuito per essere strettamente equivalente al circuito eterogeneo, di cui si tratta, quando si suppone data la sezione s' e la conduttibilità c'.

Di fatto per sostituire alla prima parte un filo di sezione s' e di conduttibilità c', basterebbe dare a questo filo una lunghezza.

$$l'' . \frac{s'. c'}{s''. c},$$

perocchè la sua lunghezza dev' essere doppia di l'', se ha una sezione doppia, ovvero una doppia conduttibilità, ec.

Questa lunghezza di un filo di sezione s' e di conduttibilità c', *equivalente* alla lunghezza l'' di sezione s'' e di conduttibilità c'', cioè che le può essere sostituita senza mutare l' intensità della corrente, è quella che noi diciamo *lunghezza ridotta* di l'';

del pari la lunghezza ridotta della seconda parte sarà :

$$l''' . \frac{s'. c'}{s'''. c'''} ;$$

e lo stesso accadrà di tutte le altre.

Ora se le diverse parti successive fossero state in realtà sostituite da lunghezze

$$l'' . \frac{s'. c'}{s''. c''},\ l''' . \frac{s'. c}{s'''. c},\ \text{ec.}$$

di un filo di sezione s' e di conduttibilità c', la lunghezza l' del novello circuito sarebbe manifestamente uguale alla somma di queste lunghezze ;

Adunque si ha

$$l' = l' \cdot \frac{s' . c'}{s'' . c''} + l'' \cdot \frac{s'' . c''}{s''' . c'''} + \text{ec.},$$

ovvero $l' = s' \; c' \left(\frac{l'}{s'' \, c''} + \frac{l''}{s''' \, c'''} + \text{ecc.} \; ; \right)$

In conseguenza dinotando con t l'intensità della corrente nel circuito di lunghezza l, di sezione s e di conduttibilità c; e con x l'intensità della corrente data dalla sorgente medesima nel circuito eterogeneo di cui si tratta, si ha;

$$x = t \, \frac{s'}{s} \cdot \frac{c'}{c} \cdot \frac{l}{l'} \; ;$$

e se si prende $s' = s = 1$; $c' = c = 1$.

$$x = t \, \frac{l}{l'} \; ;$$

in fine prendendosi per unità di lunghezza la lunghezza l, e per unità d' intensità il valore di t, si ha

$$x = \frac{\frac{1}{l' \; l''} + \text{ecc.}}{s'' \, c'' + s''' \, c'''}$$

Questa è la formola generica che dà l'intensità della corrente in un qualsivoglia circuito eterogeneo, per mezzo delle lunghezze della sezione e delle conduttibilità dei diversi fili, che compongono questo circuito.

286. *Correnti complicate o derivate.* — Una corrente è data da un elemento bismuto e rame (*fig. 450*), le cui saldature sono r ed r'; dapprima essa attraversa il filo di rame $racbr'$, che forma un circuito semplice col bismuto; in seguito con altro filo di rame adb si stabiliscono delle comunicazioni coi punti a e b, e si fa proposito di determinare tutt'i fenomeni d' intensità, che si svilupperanno con questa novella aggiunzione che si fa al circuito.

Sembra naturale supporre che la corrente va a diramarsi o a decomporsi nel punto a, che una parte continuerà di passar direttamente da a in b pel primo filo c, mentre andrà l' altra parte a prendere la novella via, che le è offerta dal filo addizionale *adb*.

Noi chiamiamo i punti a e b *punti di derivazione*, e la distanza loro calcolata nel filo, *distanza* o *intervallo di derivazione*; del pari noi chiamiamo il filo addizionale *adb filo di derivazione*, andando egli in qualche modo a *sviare* una parte della corrente per obbligarla a seguire un altro cammino.

Noi chiamiamo *corrente primitiva* quella che esiste prima che la derivazion fosse fatta; *corrente parziale* la porzione della corrente, che attualmente passa per l' antico filo *acb* tra i punti a e b; e *corrente derivata* la porzione della corrente, che passa pel filo di derivazione *adb*.

Essendo d' altra parte probabile che l' effetto della derivazione si farà sentire nella corrente primitiva medesima, per moderarne l'intensità noi chiamiamo *corrente principale* quella che passa in tutto il resto del circuito, quando la derivazione è seguita: sicchè la corrente prinpale è quella che si sostituisce alla primitiva.

Dinotiamo con t l' intensità della corrente primitiva.
con x quella della corrente principale,
con y quella della corrente parziale,
con z quella della corrente derivata.

Ciò posto per trovare in un modo generico i valori di x, di y e di z, cioè l'intensità della corrente principale della corrente parziale e della corrente derivata, per mezzo dell' intensità t della corrente primitiva, rimane ad esprimere le condizioni, le quali distinguono questi diverse intensità; e queste condizioni sono manifestamente la lunghezza del pristino circuito, l' intervallo di derivazione, la lunghezza e la sezione del filo di derivazione, conciossiachè noi ammetteremo per ora che non si adoperino, se non fili della medesima conduttibilità.

Adunque rappresentiamo generalmente con l la lunghezza totale del pristino circuito, facendo entrare nel valore di l, se ciò è mestieri, la *lunghezza ridotta* del cilindro di bismuto.

Rappresentiamo con nl la distanza de' punti a e b, o l'intervallo di derivazione; altro mai non è siffatto intervallo, che una frazione più o meno grande dell'intera lunghezza del circuito, ed importa riferirlo a questa lunghezza, anzi che esprimerlo in metri o in lunghezza assoluta. Così n è sempre una frazione più picciola della unità, esprimendo la corrispondenza, che ci ha tra l'intervallo di derivazione e la lunghezza totale del circuito; n sarà $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{10}$ od $\frac{1}{100}$, secondochè l'intervallo di derivazione sarà $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{10}$ od $\frac{1}{100}$ della lunghezza totale del filo $racbr'$ aumentata della lunghezza ridotta del cilindro di bismuto.

Rappresentiamo, dietro i medesimi principî con knl la lunghezza intera del filo di derivazione, dinotata con adb sulla figura 450; il che vuol dire che questa lunghezza è uguale a k volte l'intervallo di derivazione nl, in maniera che k può essere un numero grandissimo o una frazione più piccola dell'unità: per esempio k sarà uguale a 100 ovvero ad $\frac{1}{100}$ secondo che la lunghezza del filo di derivazione sarà uguale a 100 volte l'intervallo ab ovvero ad $\frac{1}{100}$ di questo intervallo.

Da ultimo rappresentiamo con $\frac{s}{p}$ la sezione del filo di derivazione adb, essendo s la sezione del filo $a\ c\ b$; di modo che p sia la corrispondenza delle sezioni dell'intervallo di derivazione e del filo proprio di derivazione da noi supposto omogeneo in tutta la sua lunghezza: p sarebbe uguale ad 1, se i fili avessero lo stesso diametro; e sarebbe uguale a 4, 9, 16 ec., se il filo di derivazione più sottile del filo $a\ b$ avesse un diametro $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, ec.

Stabilite una volta queste definizioni agevol cosa è di trovare i valori di x di y e di z; bastando a ciò di applicare i principi generici all'analisi de' fenomeni che si producono.

Di fatto il filo addizionale di lunghezza $k\ n\ l$ e di sezione $\frac{s}{p}$ produce sulla corrente lo stesso effetto di un filo, che fosse k volte più corto e di una sezione k volte più piccola; adunque potrebbe essere sostituito da un altro filo di lunghezza $n\ l$ e di sezione $\frac{s}{kp}$;

ma in tal caso la comunicazione tra i punti a e b sarebbe stabilita da due fili di lunghezza medesima $n\,l$, ma di sezioni diverse:

il 1mo avente una sezione.....s,

il 2°, una sezione..........$\frac{s}{kp}$;

il che è evidentemente la stessa cosa che se la comunicazione fosse stabilita da un filo solo

di lunghezza nl e di sezione $s + \frac{s}{kp} = s\frac{(kp+1)}{kp}$,

qual filo può essere a sua volta sostituito da un altro

di lunghezza $nl\frac{kp}{kp+1}$ e di sezione s.

Sicchè l'effetto della derivazione è soltanto di ridurre l'intervallo di derivazione, il quale dapprima era di lunghezza $n\,l$ e di sezione s, a non essere altro che

di lunghezza $\frac{nl\,.\,kp}{kp+1}$ e di sezione s;

quindi giusta la derivazione il circuito è lo stesso come se avesse

una lunghezza $l - nl + \frac{nl.\,kp}{kp+1}$ ed una sezione s,

ovvero una lunghezza $l\frac{(kp+1-n)}{kp+1}$ ed una sezione s.

La corrente principale x e la corrente primitiva t, avendo la sezione medesima e differenti lunghezze, son tra loro in ragione inversa delle lunghezze l ed $\frac{l(kp+1-n)}{kp+1}$ che compongono i circuiti loro; sicchè in fine si ha:

$$x = t.\,\frac{(kp+1)}{kp+1-n}.$$

Tale è il valore della corrente principale.

Ora per avere i valori di y e di z basta notare che dopo aver sostituito, come noi abbiamo fatto al filo di derivazione un altro filo

di lunghezza $n\,l$ e di sezione $\frac{s}{kp}$;

chiaro è che la somma dell'intensità della corrente parziale e della corrente derivata debba essere sempre uniforme e sempre la stessa per i suoi diversi elementi, il che dà

$$y + z = x$$

Parimente è chiaro che le intensità della corrente parziale e della corrente derivata sono sempre tra loro come le sezioni de' fili, in cui esse passano, cioè come la sezione s stà alla sezione $\frac{s}{pk}$, il che dà

$$\frac{y}{z} = kp\text{, ovvero } y = z.\ kp.$$

Per mezzo di queste due equazioni e del valor precedente di x, facil cosa è di vedere che si ha:

$$y = t.\ \frac{kp}{kp + 1 - n},$$

$$z = t.\ \frac{1}{kp + 1 - n}.$$

Sicchè in ultimo risultamento l'intensità x della corrente principale, l'intensità y della corrente parziale e l'intensità z della corrente derivata son date dalle tre equazioni fondamentali:

$$x = t.\ \frac{(kp + 1)}{kp + 1 - n},$$

$$y = t.\ \frac{pk}{kp + 1 - n},$$

$$z = t.\ \frac{1}{kp + 1 - n}.$$

Come che queste formole siano conseguenze dirette de' principi precedentemente da me stabiliti e dimostrati

nelle correnti termo-elettriche, pur tuttavia mi è paruto necessario di fare novelle serie di esperimenti oltremodo svariati, o per rifermare ancora il principio medesimo, o per dimostrare che realmente e senza eccezione si estende a tutt'i casi possibili.

Osservazioni sulle formole precedenti.

Valore di n. Esprimendo n, siccome abbiam detto, la corrispondenza, che ci ha tra l'intervallo di derivazione e la lunghezza totale del circuito, generalmente ne segue che il valore di n non è dato direttamente, e che per conoscerlo bisogna avere precedentemente determinato le lunghezze reali dell'intero circuito e dell'intervallo di derivazione. Su di che bisogna osservare che l'intervallo di derivazione può essere calcolato in due modi, cioè: senza la sorgente, o comprendendovi la sorgente medesima. Così nella figura 450 questo intervallo è semplicemente ab, se si calcola fuori della sorgente; e sarebbe $a\ r\ r'\ b$, se vi si comprendesse la sorgente medesima; ma facilmente si vede che debb'essere di necessità calcolato senza comprendervi la sorgente.

Dopo di che se il circuito è per esempio di 100 metri e la distanza de' punti di derivazione sia soltanto di 0m,1, si avrebbe:

$$n=0,001.$$

Il qual valore di n può essere allora negletto e le formole diventano:

$$x=t,$$

$$y=t.\ \frac{kp}{kp+1},$$

$$z=t.\ \frac{1}{kp+1}.$$

Così in questo caso la corrente principale è uguale alla primitiva cioè la primitiva non è punto dalla derivazione alterata; ma la corrente parziale e la corrente derivata serbano la corrispondenza loro generica $k\ p$, che dipende solo dai valori particolari di p e di k.

L'altro limite del valore di n è $n=1$; il che accade quando la derivazione segue tanto dappresso alla sorgente quanto più è possibile, in modo che l'intervallo di derivazione sia uguale al circuito medesimo; in tal caso le formole generiche diventano:

$$x = t. \frac{(kp + 1)}{kp},$$

$$y = t,$$

$$z = t. \frac{1}{kp},$$

cioè in questo caso la corrente parziale è uguale alla primitiva, o con altre parole tutto l'elettricismo, che passava nell'antico circuito, vi passa ancora senza niuna modificazione, e la sorgente dà direttamente al filo addizionale di derivazione tutta la quantità di elettricismo, che conviene alla sua lunghezza, alla sua sezione, ed alla sua conduttibilità.

Quindi se allora la lunghezza del filo di derivazione è uguale all'intervallo di derivazione, cioè se si ha $k = 1$, ne risulta:

$$z = t. \frac{1}{p};$$

dal che segue che la corrente derivata è essa medesima uguale alla primitiva per $p = 1$, che è doppia per $p = \frac{1}{2}$, ec., e che la corrente principale non cessa di essere uguale alla somma della corrente parziale e della corrente derivata; il che in ultimo risultamento vale lo stesso che l'intensità della corrente è proporzionale alla sezione del circuito, e così dev'essere.

Fra questi due limiti n può prendere tutt' i possibili valori.

Valore di k. Nelle applicazioni generalmente si conoscerà:

La lunghezza in metri del circuito che fa derivazio-

ne. Questa lunghezza essendo nelle formole nostre rappresentata con knl, si vede che basterà dividere per la lunghezza in metri dell' intervallo di derivazione per avere il valore di k; parimente si vede che questo valore rimane costante, quando si accresce nella corrispondenza medesima l'intervallo di derivazione e la lunghezza del filo di derivazione, durante siffatti cangiamenti i valori relativi della corrente principale, della corrente parziale e della corrente derivata rimangono gli stessi, ma i loro valori assoluti potranno essere alquanto diversi, se n non rimane picciolissimo.

Allorchè rimanendo la stessa la lunghezza del filo di derivazione, si fa sempre più diminuire l'intervallo di derivazione, k acquista valori, che sempreppiù crescono ed addiventano infiniti, quando l'intervallo diventa nullo; cioè quando i due punti di derivazione sono oltremodo l'uno all'altro accostati; allora si ha:

$$x = t$$

$$y = t$$

$$z = o;$$

quindi non si ha più corrente nel filo di derivazione, quando i due suoi estremi toccano due punti vicinissimi del circuito primitivo.

Per l'opposito, siccome cresce l'intervallo di derivazione, il filo di derivazione rimanendo sempre lo stesso, i valori di k sono sempre più piccioli, e possono essere vicinissimi a o, quando il filo di derivazione è cortissimo rispetto all'intervallo di derivazione; allora si ha:

$$x = t . \frac{1}{1 - n},$$

$$y = o,$$

$$z = t . \frac{1}{1 - n};$$

quindi non ci è più corrente parziale sensibile, tutto quanto l'elettricismo passa nel filo di derivazione, e la corrente derivata è uguale alla corrente principale, che trovasi essa medesima molto maggiore della primitiva, e di tanto quanto il valore di n più si accosti ad essere uguale all'unità, e così dev'essere.

Valore di p. Essendo p la corrispondenza delle sezioni del circuito primitivo preso tra' punti di derivazione ed il filo di derivazione medesimo, s'intende che la lunghezza totale del circuito debba essenzialmente valutarsi riducendola ad un filo omogeneo, che avesse la conduttibilità 1 e la sezione s del filo compreso tra i punti di derivazione; quindi se il circuito è eterogeneo, prima di tutto bisogna effettuare questa trasformazione per avere i valori di n di k e di p.

Se si mutano nel tempo stesso e nella medesima corrispondenza le sezioni dell'intervallo di derivazione e del filo di derivazione, rimanendo le lunghezze loro le stesse, il valore di p rimane costante, non che il valore di k, dal che segue che le intensità relative della corrente principale della corrente parziale e della corrente derivata restano le stesse, ma le intensità loro assolute cangiano, perchè n cangia di grandezza.

Quando i valori di p e di k sono alquanto grandi ed il valore di n è picciolo si ha sensibilmente:

$$z = \frac{1}{kp},$$

cioè in questo caso la corrente derivata è proporzionale alla sezione del filo di derivazione.

Influenza della conduttibilità. Solo per semplicizzare nello stabilire le formole noi abbiamo supposto che la conduttibilità del filo di derivazione fosse sempre la stessa della conduttibilità del circuito tra' punti di derivazione: se questa condizione non fosse adempinta, sarebbe facilissimo introdurre nelle formole le modificazioni, che ne risulterebbero, dappoichè basterebbe osservare che gli effetti della conduttibilità, essendo sempre gli stessi di quel-

li della sezione, se si rappresenta con c la conduttibilità del circuito primitivo, e con $\frac{c}{p^1}$ quella del filo di derivazione, dovrebbesi dovunque scrivere nelle formole $p\,p'$ in luogo di p.

Proprietà notabile delle correnti. Le precedenti considerazioni ci conducono ad una osservabilissima proprietà delle correnti elettriche.

Di fatto immaginiamo un circuito termo-elettrico dieci metri lungo, formato da un cilindro di bismuto e da dieci fili della sostanza medesima posti capo a capo, aventi ciascuno un metro di lunghezza, ma le cui sezioni siano diverse e crescano per esempio come i numeri naturali 1, 2, 3 ec., 10; poi supponiamo che con un filo della sostanza medesima, avente una qualsivoglia lunghezza, 20 metri per esempio, ed una sezione uguale a quella presa per unità, ci si viene a fare successivamente una derivazione agli estremi di ciascuno dei dieci fili di un metro, che compongono il circuito. E risulta dai precedenti principi che i valori di n saranno diversi in questi diversi casi, ma sempre saranno piccioli abbastanza per venir trascurati; k avrà un valore costante uguale a 20, e p acquisterà valori, che saranno successivamente 1, 2, 3 ecc. 10. La derivazione segue successivamente negli estremi de' fili, le cui sezioni sono 1, 2, 3 ecc., 10; sicchè la corrente derivata avrà intensità decrescenti, le quali saranno:

$$\frac{1}{21},\ \frac{1}{41},\ \frac{1}{61}\ \text{ed}\ \frac{1}{201}.$$

Gli è quanto l'esperienza conferma col fatto; io l'ho verificato direttamente per delle sezioni, che stavano tra di loro come 1 sta a 5: ma quando la corrispondenza delle sezioni era maggiore, sarebbe stato mestieri di fare un assai gran numero di giri sul quadro del moltiplicatore col filo della corrente derivata, ed io allora paragonai la sua intensità a quella di una corrente termo-elettrica prodotta da un altro apparecchio, e la cui intensità fosse per esempio $\frac{1}{10}$ od un $\frac{1}{20}$ di quella della corrente principale.

*

Sicchè in un circuito termo-elettrico composto di fili di sezioni diverse, la forza elementare della corrente è in tutt'i punti la stessa; e non di meno prendendosi intervalli eguali sopra questi fili diversi, le correnti derivate, che se ne traggono, hanno diverse intensità, che sono quasi in ragione inversa delle sezioni de' fili nell'intervallo di derivazione. Questa legge si applica esattamente alle correnti, che attraversano fili eterogenei; ma non basta più in tal caso di considerare le sezioni, ma deesi considerare altresì la conduttibilità, osservando che un filo di una certa sostanza avente una sezione s' ed una conduttibilità c' produce esattamente l'effetto medesimo di un filo di un'altra sostanza avente una sezione $\frac{s'c}{c}$ ed una conduttibilità c', in modo che, se la conduttibilità c' è uguale a $\frac{c}{2}$ la sezione del primo filo dovrà esser doppia di quella del secondo per produrre l'effetto medesimo. Il che è stato anche verificato dall'esperienza sulla maggior parte delle sostanze, che possono essere di leggieri ridotte in filo. Per esempio si ottiene lo stesso risultamento derivando agli estremi di un filo di rame di 1 metro e del diametro di quattro decimi di millimetro, e negli estremi di un filo di platino di 40 millimetri del diametro di 182 millesimi di millimetro.

Sicchè sotto la condizione che si possa trascurare s in rispetto a kp; si può in ultimo risultamento conchiudere che l'intensità della corrente derivata è in ragion diretta dell'intervallo di derivazione, in ragione inversa della sezione del filo in questo intervallo ed in ragion inversa della sua conduttibilità.

Derivazioni moltiplici. Quando, dopo aver fatto una prima derivazione, se ne fa un'altra in un'altra parte del circuito, facil cosa è ritrovare le intensità della corrente principale diffinitiva, e quelle delle due correnti parziali e delle due corrrenti derivate. E queste derivazioni fatte a canto l'una dell'altra con fili diversi, in diverse parti del circuito primitivo, sono quelle che noi diciamo *derivazioni moltiplici*. Nè noi ci arresteremo a

sviluppare le formole generiche, che allora esprimono le intensità de' diversi punti del circuito, deducendosi esse agevolmente da ciò che precede.

287. *Teorica del moltiplicatore applicata alla corrente termo-elettrica.* — Le leggi precedenti menano ancora a determinare la disposizione, che convien dare al moltiplicatore, perchè abbia la maggiore sensibilità possibile. Alcuni esempi basteranno per fare intendere a questo risguardo i princìpi generali, e per mostrare che la struttura del moltiplicatore è interamente subordinata al rimanente del circuito, al quale si deve applicare.

1° Se si tratta di applicare un moltiplicatore ad un circuito, che debbe aver da sè stesso una grande lunghezza, fa mestieri dare al moltiplicatore un gran numero di giri, e comporlo con un filo che non sia doppissimo. Di fatto immaginiamo che il circuito per esempio equivalga a 100 metri di un filo di rame $\frac{1}{10}$ di millimetro doppio, aggiungendo a questo circuito un moltiplicatore composto con cento metri del filo medesimo, l' intensità della corrente è soltanto ridotta alla metà; e con questi 100 metri si potrà fare nel quadro un gran numero di giri, che saranno prossimissimi, ed opereranno sugli aghi con grande efficacia. Se al filo del moltiplicatore non si dà, che la lunghezza di 10 metri, l' intensità della corrente è $\frac{10}{11}$ della pristina intensità, e quindi trovasi meno ridotta, che nel caso precedente; ma ancora con 10 metri si faranno 10 volte meno giri che con 100, ed è chiaro che 10 giri, ognuno de' quali ha un' intensità $\frac{1}{2}$, producono sugli aghi molto maggiore effetto di un giro solo, la cui intensità è $\frac{10}{11}$. Se al contrario per fare il moltiplicatore si adopera un filo di 100 metri, avente 1 millimetro di doppiezza, quest' aggiunzione quasi niente non cangia all' intensità della corrente, perocchè, uguale la conduttibilità, 100 metri di un millimetro di doppiezza equivalgono ad 1 metro di un filo di $\frac{1}{10}$ di millimetro; adunque il circuito diventa di 101 metri in vece di 100, e sembra ne risulti che il filo 1 millimetro doppio darà un effetto quasi cento volte maggiore sugli aghi, ma, siccome questi giri acquisteranno una considerevol doppiezza, essi non ope-

reranno con tanta efficacia, che i giri del filo di $\frac{1}{10}$ di millimetro. Dietro di che si può valutar l'influenza della lunghezza e della doppiezza del filo, e si vede ancora quanto sarebbe facile di trasformare in formole esatte questi principi.

2° Se trattasi di applicare un moltiplicatore ad un circuito, il quale da sè stesso non abbia che una lunghezza brevissima, bisognerà comporlo con un filo doppissimo, nè dargli che pochissimi giri; ed è ciò che facilmente si scorge con un ragionamento analogo al precedente.

Sicchè in ultimo risultamento, quando si è padrone di ridurre ad arbitrio la lunghezza del circuito, al quale si vuole applicare un moltiplicatore, si dice vero che il moltiplicatore non moltiplica; dappoichè, supponendo possa il resto del circuito restar negletto, chiara cosa è che, per aver dieci giri nel moltiplicatore, bisognerà dare al suo filo una lunghezza decupla, la quale ridurrà l'intensità della corrente ad una decima parte, di modo che con un solo giro dieci volte più intenso avrebbesi lo stesso risultamento.

288. *Misure delle alte temperature.* — Io ho fatto prova di giovarmi delle leggi delle correnti termo-elettriche per giungere alla struttura di un *pirometro magnetico*, il quale potesse servire a misurare tutte le temperature dai maggiori gradi di freddo insino a' maggiori gradi di caldo. E deggio quì dare un immagine di questo apparecchio, che si compone di due parti distinte, cioè il pirometro stesso e la *bussola pirometrica*, la quale serve a segnarne le indicazioni.

Il *pirometro* è rappresentato nella figura 453: *ab* è un tubo di ferro o piuttosto una canna di archibugio; dal mezzo della culatta *c* del fondo parte un filo di platino, il quale è incorporato nella massa del ferro, ed attraversa l'asse della canna per andare a saldarsi col pezzo di rame rosso x; dalla culatta annulare d parte un secondo filo di platino, che va a saldarsi col pezzo di rame y; il primo filo di platino è mantenuto da un corpo cattivo conduttore nel mezzo dell'apertura della culatta annulare d, perchè non possa toccarla; f è un pezzo di legno fissato in capo al tubo, e destinato di portare i due pezzi di rame x ed y.

La *bussola pirometrica* si compone di un moltiplicatore *m* (*fig.* 454) formato con un nastro di rame largo 15 a 20 millimetri, e di un ago da bussola *ab* (*fig.* 455) collocato su di un perno nel mezzo del moltiplicatore; questo ago perpendicolarmente alla sua lunghezza ha una lamina di legno *cd*, sulla quale è designata una linea di marca, che serve a giudicare della verace posizione dell' ago medesimo. Il moltiplicatore ed il suo ago son costrutti sull'alidada mobile di un cerchio partito. Quando il piano medio del moltiplicatore è precisamente nel meridiano magnetico, l'apparecchio sta a zero, e la marca dell' indice dell' ago cade sotto il filo di una lente o di un cannocchiale, che sta fisso nel moltiplicatore e l' accompagna in tutti i suoi moti. Ora se si fa passare una corrente nel moltiplicatore, l'ago sarà deviato, e l'alidada, che porta il moltiplicatore, si gira fino a che il filo della lente giunge nella marca dell' ago: il cerchio fisso indica di quanti gradi si è dovuto camminare per giungere a questo punto, e questa è la misura esatta del deviamento. In tal guisa operando si è ben certo che l' ago ha sempre la posizione medesima rispetto alla corrente: e per questo io chiamo siffatta bussola una *bussola di seno*, perchè allora l' intensità della corrente è misurata dal *seno della deviazione*. Di fatto sia *c m* il meridiano magnetico (*fig.* 451) *c* il centro dell' ago ch' è pure il centro di rotazione, *ca* la posizione dell' ago, e *d* la sua deviazione: la componente della forza terrestre *f*, ch' è diretta secondo *at*, e che tende di ricondurla al meridiano è *f. sen. d;* la forza φ della corrente opera sempre secondo *az* o perpendicolarmente all' ago, dappoichè la segue ne' suoi movimenti, insino a che il suo piano verticale passi esattamente per l'ago; adunque si deve avere:

$$\varphi = f \, sen. \, d.$$

Questo mezzo di valutare l'intensità con le deviazioni è ad un tempo commodissimo e rigorosissimo; e di grande aiuto mi è stato nelle mie investigazioni.

La comunicazione tra il pirometro e la sua bussola

si stabilisce per mezzo di due fili di rame di circa 1 millimetro di diametro, terminati in caviglie di rame, che da una parte vanno a collocarsi ne' pezzi x ed y del pirometro, e dall'altra negli estremi del nastro, di cui il moltiplicatore della bussola si compone.

L' estremo a del pirometro è destinato ad essere la saldatura calda, e perchè il ferro non si alteri al fuoco, si ricopre di un loto refrattario.

Questo istrumento è stato graduato per mezzo del pirometro ad aria da noi descritto (**131**), e le dimensioni ne sono state combinate, perchè una differenza di temperatura di 100° centigradi corrisponda ad una deviazione angolare di 4 a 5 gradi. Dopo più di due anni fatta questa graduazione, la è rimasta fedele perfettamente, senza provare la minima variazione, come che l' apparecchio sia stato molte centinaia di volte sottoposto alle temperature più alte. Si comprende che le indicazioni di questa bussola sono indipendenti dallo stato magnetico dell'ago, perocchè i suoi poli non si rimuovono di una quantità troppo considerevole.

Facendo la graduazione di molti pirometri consimili a quello testè descritto io ho comprovato questo notabile fatto, che l'intensità della corrente è lungi dall'essere proporzionale alla temperatura: corrispondendo la media forza elettro-magnetica a ciascun grado, essa va decrescendo dalla temperatura ordinaria fino a quella del *rosso nascente*, quindi aumenta per riprendere a 1000 gradi circa l'intensità, che vicino a zero aveva, e così continua di crescere molto rapidamente al di là di siffatti punti (*Rendi-conti dell' Accademia delle Scienze*, dicembre *1836*).

289. *Intensità magnetica della terra.* — Se in tutt' i tempi ed in tutt' i luoghi può arrivarsi a produrre una corrente elettrica di una costante intensità, è manifesto che la sua azione sull' ago calamitato può essere paragonata all'azione magnetica della terra, e che ne può fornire una strettissima misura di paragone, ed a ciò basta di ben definire le condizioni, in cui questa forza elettromagnetica si fa operare. Noi qui accenneremo la corren-

te costante, che ci pare più facile ad ottenere, e le condizioni, sotto di cui può farsi operare in un modo perfettamente sicuro.

Il rame ed il bismuto son due metalli, che possono agevolmente ottenersi nello stato di purità, e che inoltre hanno il vantaggio di dare origine col loro contatto ad una corrente termo-elettrica moltissimo energica. D' altra parte la purità del rame può essere verificata *a posteriori*, bastando a ciò di paragonare la sua conduttibilità con quella del mercurio distillato. Adunque può aversi per certo che del bismuto purificato e del rame provato per mezzo del suo paragone col mercurio daranno una corrente perfettamente identica, allorchè avendo le dimensioni medesime avranno appunto nelle due saldature la temperatura medesima, per esempio o e 100°. Le dimensioni da me adottate sono: pel bismuto il cilindro della figura 446 avente il diametro di 20 millimetri, 150 millimetri di lunghezza nella parte diritta e 50 millimetri per le appendici perpendicolari; e pel rame un filetto di 1 millimetro di diametro e di 20 metri di lunghezza. Ecco il circuito strettamente diffinito, e la corrente, che ne risulterà, sarà perfettamente costante in tutt' i tempi ed in tutt' i luoghi, quando la saldatura fredda sarà posta a zero ed a 100° la calda.

Ora ecco le condizioni, che sonomi parute più convenevoli per fare operare questa corrente sull' ago calamitato. Pel moltiplicatore ho fatto un quadro di ottone, rappresentato nella figura 452 per un prospetto di sopra e per un taglio; la parte esterna, sulla quale si avvolge il filo, ha 200 millimetri di lunghezza nella sua parte diritta, e gli estremi curvi sono cerchi del raggio di 15 millimetri; in guisa che un giro di filo corrisponde molto dappresso ad una lunghezza di 500 millimetri.

Il filo di 20 metri fa 20 giri sul quadro, ed opera su di un ago di un decimetro, ch' è rappresentato nella figura 452 tra i due prospetti del quadro; esso è munito da ciascun capo di un indice leggero, sul quale si contrassegnano delle marche; quando è collocato su di un perno, come nel taglio si vede, è facile di ricondurlo esattamente nel punto medesimo. Il quadro è stabilito sull' ali-

dida mobile di un cerchio partito in modo da formare una *bussola di seno*. Stando l' apparecchio in zero mettasi la saldatura fredda a 0°, e la saldatura calda a 100°, poscia si osservi la corrispondente deviazione: a Parigi questo deviamento è di 20°, 15; e ne' diversi luoghi della terra, o nello stesso luogo in tempi diversi, le intensità del magnetismo terrestre saranno tra loro in ragione inversa del seno della deviazione.

Questo apparecchio mi pare il più semplice ed il più esatto per determinar con certezza l' intensità magnetica della terra.

290. *Diverse sorgenti termo-elettriche.* — La forza elettro-magnetica, che si sviluppa nel contatto di due qualsivogliano metalli, non è stata ancora studiata con tutta l'accuratezza che merita; così noi vedemmo poco fà che questa forza al contatto del platino e del ferro è mutabile con la temperatura, e che ha un minimum di media intensità corrispondente alla temperatura del rosso nascente; altre esperienze mi hanno fatto vedere che questa forza al contatto del bismuto e del rame è perfettamente costante, cioè proporzionale alla temperatura da 100 gradi *al di sopra di zero* sino a 78 *al di sotto di zero*, ch'è la temperatura di un miscuglio di etere e di acido carbonico solido, temperatura che è stata da me nello stesso tempo determinata col pirometro ad aria, col pirometro bismuto e rame, e col termometro ad alcool. (*Rendi-conti dell' Accademia delle Scienze*, Aprile 1837, *tom. 4, pag. 514.*) Il sig. Bequerel si è pure abbandonato ad un gran numero di esperimenti su questo subietto (*t. 2. p. 46 e segu.*): ma rimangono ancora a farsi molte ricerche per determinare con precisione le variazioni, che la forza elettro-magnetica prova nella sua intensità a diverse temperature per determinati metalli, e soprattutto a paragonare tra loro le intensità delle correnti, che dalle diverse sorgenti termo-elettriche sono prodotte.

291. *Pile termo-elettriche.* — Per istudiar le leggi dello sviluppo dell' elettricismo nelle pile termo-elettriche, io ho composto delle pile di otto, di ventiquattro e di trentadue elementi, bismuto e rame: due di questi elementi

sono rappresentati nella figura 457; la figura 458 rappresenta un aspetto di sopra ed una prospettiva della pila di otto elementi; vasi di terra riempiti anticipatamente di ghiaccio e di acqua calda servono a mantenere le saldature fredde a 0 e le calde a 60 od 80°. Un picciolo ago calamitato sospeso ad un filo di seta si dispone al di sopra della metà di un elemento rame, e con le sue oscillazioni segna l'intensità della corrente, che passa nella pila.

Facil'è con questo mezzo di comprovare esattissimamente quel risultamento generico, che già era stato accennato dai Signori OErsted e Fourier, che cioè l'intensità della corrente è proporzionale al numero degli elementi, che sono in attività; ma dippiù si dimostra, che sia qualunque il numero degli elementi di una pila, quando *tutti* sono posti in attività, l'intensità assoluta della corrente è precisamente la stessa. Sicchè la corrente della pila di trentadue elementi ha precisamente la medesima intensità della corrente della pila di ventiquattro, e di quella di otto, allorchè le differenze di temperatura sono uguali, e si può aggiungere che ha l'intensità medesima della corrente prodotta da un solo paio per una differenza medesima di temperatura. Di qui procede che non mettendosi in attività più di un paio solo della pila di trentadue elementi, la corrente non è che la sedicesima parte di quella prodotta da un paio solo o da due elementi. Il che è una novella conferma della nostra legge fondamentale, che l'intensità è in ragion inversa della lunghezza del circuito.

Ecco ancora un fatto importante, che ho avuto l'opportunità di osservare, e del quale la teorica delle correnti derivate dà la spiegazione ad un tempo e la misura.

Se nella pila di 8 elementi (*fig. 458*) si riscaldano soltanto le due saldature 1 e 4 allo stesso grado, rimanendo a 0 tutte le altre, niuna apparenza di corrente si scorgerà nella pila, il che debbe accadere, non potendo le saldature dare origine, che a correnti uguali e contrarie; ma se allora si stabilisce una comunicazione vv' tra i due elementi rame cd ed ef, incontanente questa tra-

versa dà il passaggio ad una corrente intensissima. E ne risulta questa conseguenza notabile, che, derivando la corrente contraria dall' elevazione di temperatura delle due saldature 1 e 4, le non si distruggono mai, ma ognuna d' esse circola come se fosse sola. Per rendere questa verità indubitata basta osservare l' intensità della corrente $v\,v^1$, e dimostrare, siccome ho fatto, che questa intensità è precisamente quella, che risulta dalla totalità delle correnti derivate, contrarie e disuguali, che deggiono passare per la congiunzione vv'.

Sicchè le correnti opposte non si distruggono affatto, o piuttosto non riducono i fluidi elettrici nello stato di equilibrio e di riposo, ma ognuno di essi produce i movimenti propri, che, se fosse solo, produrrebbe. (15)

Le pile, di cui or ora parlammo, sono state disposte con lo scopo di ricercar le leggi fondamentali delle correnti; ma in ragione della lor massa e del loro volume non possono servire alle osservazioni termometriche. Tra le pile, che sono state costrutte solo a tal fine, quella del Nobili è senza contrasto la più ingegnosa e sensibile: essa è rappresentata nella figura 459. Questa pila è composta di 25 o 30 delicatissimi aghi di bismuto e di antimonio, che hanno circa 4 o 5 centimetri di lunghezza, e sono saldati, come mostra la figura 460, in modo che tutte le saldature pari siano ad un punto e tutte le dispari all' altro; la totalità forma un fascettino unito, e solido per cagione delle sostanze isolanti, che separano gli aghi l' uno dall' altro, dappoichè non bisogna che in altre parti si tocchino, fuorchè nelle saldature; da ultimo i due *semi-elementi*, che compiono la catena, vanno a comunicare l' uno colla caviglia x, e l' altro colla caviglia y che formano così i due poli della pila.

Due fili ravvolti ad elica larga e coverti di seta stabiliscono la comunicazione tra i poli della pila ed il moltiplicatore.

Se si conoscesse con esattezza la conduttibilità del bismuto e dell' antimonio, e la dimensione degli elementi della pila, agevolmente si potrebbe calcolare la lunghezza di un filo di rame di una doppiezza data, che rappre-

senta il circuito della pila, e di là conchiudere il numero de' giri, ch' è necessario di dare al moltiplicatore per avere la maggiore sensibilità possibile. In mancanza di questo metodo diretto, potrebbe adoperarsene uno indiretto, aggiungendo l'una dopo l'altra al circuito della pila due lunghezze diverse del filo medesimo di rame, ed osservando le corrispondenti intensità facilmente se ne dedurrebbe che il circuito della pila diminuisce l'intensità della corrente, di quanto il farebbe una lunghezza determinata di esso filo. Ma semplici tentativi hanno menato alla struttura di un moltiplicatore, che adempie lo scopo con una sufficiente sensibilità. Noi vedremo nell'articolo del calor raggiante le belle investigazioni, che sono state fatte dal sig. Melloni per mezzo di questo apparecchio, al quale egli ha dato il nome di termo-moltiplicatore.

Correnti idro-elettriche.

292. *Bussola di seni e bussola di tangenti.* — Le leggi delle correnti idro-elettriche non sono nè meno semplici, nè meno generiche di quelle delle correnti termo-elettriche; ma per istabilirne sopra misure d'intensità bastantemente precise, noi abbiamo dovuto ricorrere a strumenti particolari, che noi abbiamo chiamati ***Bussola di seni*** e ***Bussola di tangenti***, di cui daremo dapprima un immagine.

Bussola di seni. Noi abbiamo precedentemente (288) indicato il principio, su cui la bussola di seni riposa, ed aggiungeremo solo che abbiamo dovuto far uso di molti apparecchi di questa specie aventi diverse sensibilità; per aumentare la sensibilità basta avvicinare all'ago il circuito, che deve operare su di esso; al contrario per diminuirla basta di allontanarlo; finalmente il circuito può esser semplice nè fare che un giro, siccome può esser moltiplice e rappresentare un moltiplicatore verace.

La figura 461 rappresenta una semplice bussola.

La figura 462 ne rappresenta una, il cui circuito può ad arbitrio essere o semplice o moltiplice, dappoichè il cerchio a gola *abcd* è sciolto nella sua parte inferiore *d*

(*fig. 462 bis.*), perchè si possa passare con facilità il filo, che porta la corrente, ed accrescere o sminuire ad arbitrio il numero dei giri, onde opera sopra l'ago. Il diametro del cerchio è $\frac{1}{3}$ di metro, in modo che ciascun giro del filo è di un metro.

Io ho adoperato altre bussole di sensibilità differenti. La figura 463 rappresenta quella di media grandezza, e può essere del pari semplice o a moltiplicatore; il diametro del suo cerchio è di 22 centimetri. Più in là noi vedremo come le sensibilità di queste diverse bussole possono esattamente paragonarsi; esse, come noi abbiamo già detto, sono indipendenti dallo stato magnetico dell'ago, posto che l'ago abbia una forza direttrice sufficiente.

Bussola di tangenti. La bussola di tangenti è rappresentata nella figura 464, e si compone di un gran cerchio di diametro di 4 a 5 decimetri, ch'è il cerchio della corrente; esso è formato da un nastro di rame 20 millimetri largo e 2 doppio; il nastro è rivestito di seta, e i due suoi estremi sono piegati l'uno vicinissimo all'altro per prolungarsi fuori nel senso del raggio, poi si allontanano per mettere ciascuno capo in una tazza contenente mercurio. Il cerchio della corrente è disposto verticalmente su di una specie di banco, ch'è fesso nel mezzo della sua larghezza per riceverla, e sopra questo banco è stabilito un cerchio partito orizzontale, che deve percorrere un'ago di bussola sospeso ad un filo di seta nell'interno di una campana di vetro, che riposa altresì su di questo medesimo banco: tutti questi pezzi sono disposti, affinchè il centro dell'ago sia quanto più si può nel centro del cerchio della corrente, e per conseguenza affinchè la direzione dell'ago coincida col piano verticale del cerchio, quando questo è diretto esattamente nel piano del meridiano magnetico.

Essendo in questo stato le cose, è manifesto che, se si fanno immergere i due poli di una pila nelle tazze ripiene di mercurio, che già ricevono il piede del cerchio, la corrente passerà nel cerchio ed opererà sopra l'ago calamitato per deviare all'est o all'ovest il polo australe; ed è parimente manifesto che ci sarà una corrispondenza

determinata tra la forza della corrente e l'angolo di deviazione dell'ago. Ora è facil vedere che, se la lunghezza dell'ago è picciola rispetto al raggio del cerchio, l'intensità della corrente sarà misurata dalla tangente della deviazione: e per questo l'apparecchio può esser chiamato *bussola delle tangenti*. Intanto se bisogna che l'ago sotto questo aspetto sia corto, importa altresì che sia abbastanza lungo, perchè si possa valutar facilmente un quarto o anche un quinto od un sesto di grado. Per adempiere questa doppia condizione l'ago calamitato è stato fissato molto perpendicolarmente sopra un lungo ago di rame leggierissimo, i cui estremi corrono verso le divisioni del cerchio partito. Bisogna che l'apparecchio sia perfettamente regolato, ed a ciò basta di esaminare, se le deviazioni de' due estremi dell'ago di rame sono sempre uguali tra loro, e se facendo passar la corrente in un senso, si ottiene sempre lo stesso risultamento, che facendola passare nell'altro. Quando gli angoli arrivano a 75 od 80 gradi, un'errore di 10 minuti sulla lettura corrisponderebbe ad una differenza d'intensità troppo considerevole, perchè si potesse negligerla: così non possono riguardarsi come esatte, se non le indicazioni, che sono inferiori a 75 od 80°; ma siccome è possibile valutare men di $\frac{1}{4}$ grado, si vede che la bussola delle tangenti può servire a paragonare delle correnti, una delle quali è circa trecento volte più efficace dell'altra.

293. *Leggi dell'intensità della corrente prodotta da un'elemento*. Noi abbiamo più innanzi descritto l'elemento idro-elettrico, che abbiamo adoperato in queste ricerche, ed è rappresentato nella figura 466; è stato preferito come il solo, che possegga una forza costante, e che però conceda di stabilire leggi sopra dati precisi. La corrente dell'elemento giunge alla bussola per mezzo di due forti aste di rame *c* e *d* (*fig. 464*) aventi circa 1 centimetro di diametro ed un mezzo metro di lunghezza.

Per determinar la legge, secondo la quale l'intensità diminuisce, siccome si accresce la lunghezza del circuito, con un filo *medesimo* si fanno delle serie di lunghezze diverse, per esempio 5^m, 10^m, 40^m, 70^m, e 100

metri; quando siffatti fili sono coverti di seta si ravvolgono a corona (*fig. 463*) e s'inviluppano con un nastro, in modo che i due estremi *a* e *b* ricurvi ad uncini possono di leggieri metter capo nelle tazze di mercurio. È non è inutile amalgamarli precedentemente.

Quindi si procede nel seguente modo:

Si fa passar la corrente direttamente nella bussola, e si osserva la deviazione, poi s'introducono l'un dopo l'altro nel circuito tutt' i fili della serie segnando accuratamente le corrispondenti deviazioni.

Ecco per esempio il risultamento di un'osservazione:

Lunghezza aggiunta al circuito.	Deviazione osservata	Tangente della deviazione.
0 met.	62° 00'	1, 880
5	40 20	0, 849
10	28 30	0, 543
40	9 45	0, 172
70	6 00	0, 105
100	4 15	0, 074

Dapprima niuna specie di regolarità si osserva nel cammino decrescente, che acquista l'intensità, siccome cresce la lunghezza del filo; ma, se si pone mente che il filo aggiunto al pristino circuito non è il solo ostacolo, che debba vincere la corrente, e che bisogna far qualche conto del liquido dell'elemento medesimo, il cerchio della bussola e di vari conduttori, che servono a rendere le comunicazioni compiute, si sarà indotto a credere che la totalità di queste resistenze diverse, che io chiamo ***resistenza dell'elemento***, può essere rappresentata da una certa lunghezza incognita x del filo medesimo, che è stato aggiunto al circuito, di modo che in realtà le lunghezze del circuito le deviazioni e le tangenti o le intensità osservate danno la seguente tavola:

Lunghezza del circuito.	deviazioni osservate.	tangenti delle deviazioni.
x	62, 00	1, 880
$x + 5$	40, 20	0, 849
$x + 10$	28, 30	0, 543
$x + 40$	9, 45	0, 172
$x + 76$	6, 00	0, 105
$x + 100$	4, 15	0, 074

Ora se è vero che le intensità delle correnti idro-elettriche siano in ragione inversa delle lunghezze del circuito, siccome le intensità delle correnti termo-elettriche, sarà facil cosa di trarre da questi risultamenti il valore di x, che allora dovrà essere costante. Or paragonando giusta questo principio la prima osservazione con ciascuna delle seguenti; se ne traggono di fatto valori di x pochissimo diversi l'uno dall'altro; questi valori sono: 4^m, 11; 4, 06; 4, 03; 4, 14; 4, 09; la cui media è 4, 08.

In tal modo la resistenza dell'elemento è espressa da 4^m, 08 del filo di rame, le cui diverse lunghezze sono state aggiunte al circuito. Adottando questa lunghezza e la legge generica delle intensità in ragione inversa della lunghezza totale del circuito, facilmente possono calcolarsi le deviazioni, che avrebbero dovuto ottenersi, e paragonarle a quelle che ha datè l'osservazione diretta.

Ecco la tavola de' risultamenti:

Lunghezze del circuito.	deviazioni calcolate.	deviazioni osservate.	differenza.
4m, 08	62°, 00'	62°, 00'	
9, 08	40, 18	4, 200	+ 2'
14, 08	28, 41	28, 30	— 11
44, 08	9, 56	9, 45	— 11
74, 08	5. 57	6, 00	+ 3
104, 08	4, 14	4, 15	+ 1

Questa coincidenza tra i risultamenti diretti dell'osservazione e quelli dedotti dalla legge generica applicata alle correnti idro-elettriche non può rimanere alcun dubbio su l'esattezza di questa legge.

Io qui non cito altro che un solo esempio per dare un'immagine del metodo di osservazione, ma debbo aggiungere che gli esperimenti sono stati variati, per quanto poteva richiedere l'importanza del subbietto, che numerose serie sono state fatte con elementi moltissimo energici o moltissimo deboli, e con fili ottimi o pessimi conduttori, come l'oro, l'argento, il platino, l'ottone ed il ferro. Solamente aggiungerò che i fili di ferro o di ottone, comechè presi capo a capo nel pezzo medesimo, pure non sempre hanno una conduttibilità costante, e che non tutt'i risultamenti offrono un accordo tanto perfetto, quanto quelli da noi testè riferiti; ma quando si prende la pena di osservare direttamente la conduttibilità e di tenerne ragione, tutte le picciole irregolarità dispariscono.

Allorchè la resistenza di un elemento è una volta determinata per mezzo di un filo, di cui si conosce la sezione e la conduttibilità, è facile a trovare il numero, che deve esprimerla, quando si adopera nell'esperienze un altro qualsiasi filo; questa resistenza, la quale per esempio è: 4, 08 pel filo della precedente esperienza, sarebbe 408^m per un filo dello stesso diametro, la cui conduttibilità fosse 100 volte maggiore, ec., ec. Ancora si può, siccome altre volte aveva fatto, adoperare questo mezzo a determinare la conduttibilità relativa di diversi metalli, ma gli elementi ordinarî alla Wollaston o in elica, che io allora usava, provano tali variazioni d'intensità, che impiegandoli è impossibile dimostrare con una sufficiente precisione la legge di cui si tratta.

Da ultimo da queste osservazioni risulta che, per le sorgenti idro-elettriche egualmente che per le termo-elettriche, l'intensità della corrente è in ragion diretta della sezione e della conduttibilità, ed in ragion inversa dell'intera lunghezza, ma questa lunghezza totale non è mica la lunghezza apparente: sì è la lunghezza di tutte le diverse parti della corrente ridotte ad una sezione medesima e ad una medesima conduttibilità co' principi da noi sviluppati (285).

294. *Correnti derivate.* — Le formule delle correnti derivate da noi stabilite precedentemente (286) si applicano senz'alcuna restrizione alle correnti idro-elettriche,

quando si è determinato, come testè facemmo, la resistenza della sorgente, che dà origine alla corrente; solo bisogna aver cura di esprimere la lunghezza totale del circuito, facendovi entrare questa resistenza col valor numerico, che la debbe avere in seguito della sezione della conduttibilità scelta per esprimere le lunghezze di tutte le altre parti del circuito.

I risultamenti di queste formule sono quì molto più facili a verificare, perchè le correnti hanno un' intensità molto maggiore; gli apparecchi, di cui mi sono servito per siffatte verificazioni, sono bussole di seno analoghe a quelle rappresentate nelle figure 461 e 465, ma aventi diverse sensibilità, secondo l'intensità che trattavasi di osservare.

293. *Leggi dell'intensità delle correnti prodotte da una pila.* — Le pile, che mi hanno in queste ricerche servito, sono state composte con elementi analoghi a quello rappresentato nella figura 466; e sonosi collocati in un modo convenevole per osservare ciascuno di essi partitamente: noi qui citeremo una sola serie di esperienze fatte con una pila di 6 elementi per indicare la via ch'è stata seguita.

Prima di tutto si è determinata l'intensità individuale e la resistenza di ciascuno elemento.

Ecco la tavola dei risultamenti.

NUMERI degli elementi.	LUNGHEZZE aggiunte all' *elemento*.	DEVIAZIONI osservate	TANGENTI o intensità.	RESI-STENZE.
1	0 met.	69° »'	2, 600	»m »
	5	43 20	0, 943	2, 85
	10	30 »	0, 577	2, 85
	40	11 »	0, 194	3, 20
			Media...	2, 97
2	0	66 30	2, 300	», »
	5	43 »	0, 933	3, 41
	10	29 40	0, 570	3, 35
	40	10 40	0, 188	3, 55
			Media...	3, 44
3	0	67 40	2, 434	», »
	5	42 30	0, 916	3, 02
	10	29 40	0, 570	3, 05
	40	10 20	0, 182	3, 23
			Media...	3, 10
4	0	67 »	2, 355	», »
	5	42 30	0, 909	3, 19
	10	29 40	0, 570	3, 19
	40	10 20	0, 182	3, 35
			Media...	3, 25
5	0	68 »	2, 475	», »
	5	43 20	0, 943	3, 08
	10	30 30	0, 589	3, 13
	40	11 »	0, 194	3, 40
			Media...	3, 21
6	0	64 »	2, 050	», »
	5	41 »	0, 869	3, 68
	10	28 40	0, 548	3, 64
	40	10 »	0, 176	3, 75
			Media...	3, 69

Sicchè questi elementi avevano quasi la forza medesima: eccettuato non per tanto il 6° che era alquanto più debole.

Essendosi stabilite le comunicazioni fra tutti gli elementi si ha avuto una pila, la cui intensità era tale, che poteva portare sino al rosso un filo di platino di $\frac{1}{4}$ di millimetro di diametro, e di più di 20 centimetri di lunghezza.

In seguito si è fatta passare per la bussola delle tan-

genti la corrente, che poteva produrre, e sonosi ottenuti i seguenti risultamenti col filo di rame delle precedenti esperienze.

LUNGHEZZE aggiunte.	DEVIAZIONI osservate.	TANGENTI delle deviazioni.	RESISTENZE.
0 met.	68° 30'	2,538	», »
5	63 20	1,991	18,20
10	58 30	1,632	19,03
40	39 »	0,810	18,01
70	28 »	0,532	18,56
100	21 30	0,394	18,38
		Media . .	18,43

Questi notevoli risultamenti provono a prima vista che l'intensità della corrente prodotta da una pila di 6 elementi è in apparenza minore dell'intensità della corrente prodotta dall'elemento più forte; dappoichè l'elemento n° 1 aveva dato una deviazione di 69°, e la pila intera non dà che una deviazione di 68° 30'.

Questi risultamenti dimostrano in seguito che la resistenza di una pila è molto maggiore di quella di ciascuno de'suoi elementi; ma che l'intensità sua rimane sommessa alla legge generica, cioè che essa è, come per un semplice elemento, in ragione inversa della lunghezza totale del circuito.

Ma resta a trovar la corrispondenza, che non può mancare di esservi fra l'intensità della pila e quella dei suoi diversi elementi costitutivi. Per questo noi prima di tutto noteremo che, se si aggiungono capo a capo diversi elementi per comporne una pila, la corrente dell'elemento n° 1 non deve più attraversare soltanto la lunghezza del suo circuito e quella della bussola, ma inoltre deve attraversare tutti gli altri elementi, epperò indebolirsi in proporzione della lunghezza, che rappresenta la resi-

stenza di questi elementi; che lo stesso è dell'elemento n° 2 e di tutti gli altri.

Quindi rappresentandosi con

t_1 ed r_1, l'intensità e la resistenza individuale del 1° elemento,

t_2 ed r_2 . . . . del 2° elemento,

t_3 ed r_3 . . . . del 3° elemento

ecc., ecc., ecc.

queste resistenze essendo determinate, come precedentemente si è detto, chiaro è che la corrente dell'elemento n° 1, quando nella pila entra, dovrà attraversare la sua propria lunghezza r_1, poi la lunghezza $r_2 - a$, rappresentando con a la lunghezza della bussola e de' conduttori comuni, che deesi diffalcare dalla lunghezza r_2; poi dovrà in seguito attraversar la lunghezza $r_3 - a$ del 3° elemento, la lunghezza $r_4 - a$ del 4° elemento, ed infine la lunghezza l del circuito aggiunto; in modo che in ultimo risultamento la corrente dell'elemento n° 1 dovrà attraversare una lunghezza espressa da

$$r_1 + r_2 + r_3 + \ldots\ldots r_n - a(n-1) + l,$$

o da

$$\Sigma r - a(n-1) + l$$

dinotando con Σr la somma delle quantità simili,

$r_1, + r_2 + \ldots r_n.$

Ora se per una lunghezza r_1 la sua intensità è t_1, è manifesto che per una lunghezza $\Sigma r - a(n-1) + l$, la sua intensità sarà:

$$\frac{r_1 \; t_1}{\Sigma r - a(n-1) + l}.$$

Per la medesima ragione l'intensità del secondo elemento verrà espressa da

$$\frac{r_2 \; t_2}{\Sigma r - a(n-1) + l}$$

quella del 3° da

$$\frac{r_3 t_3}{\Sigma r - a(n-1) + l};$$

in modo che la somma delle intensità di tutti gli elementi delle pila sarà, in ultimo risultamento, espressa da

$$\frac{\Sigma r t}{\Sigma r - a(n-1) + l},$$

designando con $\Sigma\ r\ t$ la somma de'prodotti simili $r_1\ t_1 + r_2 t_2 +$ ec., ec.

Questa è dunque la formola generica esprimente l'intensità di una pila per mezzo delle intensità individuali de'suoi elementi.

Per farne l'applicazione alla precedente esperienza, basta conoscere il valore di a; avendosi nella prima tavola i sei valori di r e di t per ciascuno elemento, e nella seconda i diversi valori di l. Le dimensioni conosciute del nastro di rame e delle due grosse aste di rame, che servono alla comunicazione, concedono di conchiudere che a è quasi uguale a $0^m, 26$, ed esprimendola in lunghezza della medesima specie del filo, che è servito a determinare la resistenza; sicchè $(n-1)\ a = 5.\ 0^m, 26 = 1^m, 30$.

D'altra parte nella prima tavola si scorge che la somma delle resistenze individuali osservate è 19, 66; dunque

$$\Sigma r - a(n-1) = 19,66 - 1,30 = 18,36.$$

Pei valori di r_1, di t_1, di r_2 e di t_2 ec., designati nella tavola medesima si scorge che $\Sigma r\ t$ è uguale a 46, 343.

Quindi l'intensità della pila è espressa da:

$$\frac{46.\ 343}{18,36 + l}.$$

Ora calcolando siffatte intensità per $l = 0$, $l = 5$, $l = 10$, $l = 40$, $l = 70$, $l = 100$, e paragonando sif-

fatti risultamenti calcolati co' risultamenti osservati, dopo essere risalito dalle tangenti agli angoli la tavola seguente si ottiene :

Lunghezze aggiunte.	deviazioni osservate.	deviazioni calcolate.	differenze.
0	68, 30	68, 23'	+ 7'
5	63, 20	63, 15	+ 5
10	58, 30	58, 33	— 3
40	39	38, 30	+ 30
70	28	27, 42	+ 18
100	21, 30	21, 25	+ 5

Ora riportandosi a tutte l'esperienze individuali, i cui elementi sono entrati in questo calcolo diffinitivo, senza dubbio niuno ricuserà di ammettere per del tutto soddisfacente questo accordo del calcolo e dell'esperienza, epperò a risguardare come strettamente dimostrati i principi, secondo i quali si è potuto giungere ad esprimere con una formola generica l'intensità di una pila col mezzo delle intensità individuali de' suoi elementi. Del resto sol dopo aver fatto un gran numero di altre serie di esperienze tutte concludenti del pari, la formola generica ha potuto ispirare una totale fiducia.

Solo aggiungeremo che mai non bisogna adoperar fili, i quali possano riscaldarsi troppo sensibilmente per l'effetto della corrente della pila, conciossiachè essendo la conduttibilità loro alterata dal cangiamento di temperatura, essi debbono essere allora assomigliati a fili di sostanze diverse, nè le loro lunghezze reali sono più rappresentate dalle loro lunghezze apparenti.

Del rimanente s' intende bene che per le pile come per gli elementi le intensità osservate non sono in ragione inversa delle lunghezze dei circuiti, se non quando questi circuiti sono composti di fili omogenei, della sezione medesima e della medesima conduttibilità: nel caso opposito bisogna, siccome abbiamo indicato, prendere le *lunghezze ridotte*, cioè ricondotte dal calcolo ad una sezione medesima e ad una medesima conduttibilità.

Ora noi possiamo riprendere la formola generica pre-

cedente per indicare con rapidità alcune delle numerose conseguenze, che se ne possono dedurre.

Prima conseguenza. Dappoichè l'intensità di una pila è generalmente rappresentata da

$$\frac{\Sigma r t}{\Sigma r - a(n-1) + l},$$

di qui procede che la è sempre in ragione inversa della lunghezza del circuito, siccome abbiamo riconosciuto dall'esperienza; e ne procede ancora che è sempre possibile di concepire un solo elemento dotato di tale proprietà, che da sè solo riproduca esattamente tutti i fenomeni della pila.

Di fatti sia R la resistenza di un tale elemento e T la sua intensità, quando la sua corrente non attraversa che il suo proprio circuito R; quando la sua corrente attraverserà inoltre la lunghezza l del filo o del conduttore, ch'è servito ad esprimere la resistenza, l'intensità sua sarà espressa da

$$\frac{R\,T}{R+l}$$

e se questo elemento può produrre tutt'i fenomeni della pila, bisognerà che l'equazione

$$\frac{\Sigma r t}{\Sigma r - a(n-1) + l} = \frac{R\,T}{R+l}$$

possa sempre verificarsi indipendentemente dal valore di l; e questa è la sola condizione che deesi adempiere: ora questa condizione si adempie con le due corrispondenze

$$R = \Sigma r - a(n-1),$$

$$\text{e......} T = \frac{\Sigma r t}{\Sigma r - a(n-1)}$$

Dunque se per mezzo di qualche chimica reazione o

di ogn'altra cagione capace di sviluppare elettricismo potevasi giungere a comporre un elemento, la cui resistenza propria fosse uguale a $\Sigma r - a(n-1)$, questo elemento potrebbe produrre tutti gli effetti della pila; dappoichè accrescendo le superficie o adoperando qualche altro mezzo, senza dubbio si arriverebbe a dargli una tensione tale, che potesse soddisfare all'altra corrispondenza

$$T = \frac{\Sigma r t}{\Sigma r - a(n-1)}.$$

Allora in tutt'i casi questo elemento condurrebbesi come una pila, e produrrebbe dappertutto gli stessi effetti.

Seconda conseguenza. Se tutti gli elementi hanno la medesima forza, la formola generica diventa:

$$\frac{n r t}{nr - a(n-1) + l};$$

Se a è picciolissima rispetto ad r (ei si può sempre disporre gli apparecchi in modo, che accada così), la formola si rende più semplice ancora, e diventa:

$$\frac{n r t}{n r + l};$$

In fine se si fà $l = pr$, cioè se il conduttore traversato dalla corrente è espresso da p volte la resistenza di un elemento; l'intensità della pila riducesi a:

$$\frac{n t}{n + p}.$$

Quindi se p è picciolo rispetto ad n, il che accade in una pila di un gran numero di elementi, la corrente della quale attraversa conduttori di una gran sezione e di una grande conduttibilità, l'intensità riducesi a:

$$\frac{nt}{n} = t;$$

cioè che in questo caso l'intensità della pila non è maggiore di quella di un solo elemento.

Al contrario se p è grandissimo rispetto ad n, il che accade allorchè la corrente della pila deve attraversare alcuni liquidi, o solo grandissime lunghezze di un filo delicato o cattivo conduttore, e quando nel tempo medesimo il valore di r è picciolo, cioè quando il liquido della pila è buonissimo conduttore, allora l'intensità è espressa da

$$\frac{nt}{p},$$

cioè è proporzionale al numero degl'elementi.

Questi due ultimi casi sono i due limiti, tra quali l'intensità di una qualsiasi pila è essenzialmente racchiusa. Sicchè nella più sfavorevole condizione l'intensità della pila non è mai minore nè maggiore di quella di un elemento; nella condizione più favorevole è al numero degli elementi proporzionale; da ultimo nelle condizioni ordinarie ha un valore intermedio e compreso tra questi limiti.

Adunque la tensione della corrente in ultimo risultamento non è altro, che la facoltà di attraversare *un lungo circuito* senza troppo rapidamente sminuire d'intensità; e parlando di un lungo circuito bisogna come sempre intendere la lunghezza reale e non già l'apparente. Se per esempio si tratta di un circuito di acqua acidulata alcuni millimetri lungo, bisogna intendere che siffatto circuito espresso in lunghezza di filo avrà forse il valore di qualche milioni di metri, secondo la sezione e la conduttibilità del filo, che si sarà scelto per esprimere le resistenze degli elementi.

296. *Legge dell'intensità di una corrente prodotta da parecchi elementi polo con polo congiunti.* — Quando due elementi si riuniscono polo a polo per fare in seguito passar la corrente, che ne risulta in un qualsiasi circuito, non è malagevole il determinare cogl'istessi principi l'intensità della corrente, quando sono note l'intensità e le resistenze individuali degli elementi: a ciò basta notare che, considerando il primo elemento come solo

attivo, il secondo elemento dà passaggio ad una corrente derivata, di cui può trovarsi l'intensità; in seguito considerando a sua volta come solo attivo il secondo elemento, il primo elemento dà allora passaggio ad una corrente derivata, di cui può eziandio calcolarsi l'intensità. Questi calcoli niente di difficil non hanno, dopo quanto abbiamo detto dianzi, ma troppo son lunghi, perchè li potessimo qui indicare; solo ne daremo la formola generica, che ne risulta e che rappresenta l'intensità di una pila di tal sorta composta di n elementi, le cui intensità e resistenze sono espresse da t_1, r_1, t_2, r_2; ec. Questa formola è la seguente:

$$\frac{r_1 r_2 \ldots r_n \,(t_1 + t_2 + \ldots t_n)}{r_1 r_2 \ldots r_n + a\,(r_2 r_3 \ldots r_n + r_1 r_3 \ldots r_n + \text{ecc. } r_1 r_2 \ldots r_n - 1}$$

a rappresenta la lunghezza del filo aggiunto al circuito, e tutte le resistenze vogliono essere espresse in lunghezza di questo filo.

Quando tutti gli elementi sono uguali e per la resistenza loro e per la loro intensità, questa formola diventa:

$$\frac{r\,n\,t}{r + na}.$$

e supponendosi che la lunghezza addizionale a sia rappresentata da pr, si ha finalmente:

$$\frac{n\,t}{1 + np}$$

Ora un'elemento solo per la lunghezza medesima addizionale pr avrebbe un'intensità espressa da:

$$\frac{t}{1 + p};$$

dal che risulta che tra una pila di n elementi ed uno elemento solo della forza medesima havvi una corrispondenza d'intensità, la quale è espressa da:

$$\frac{n+np}{1+np}.$$

Sicchè quando niente non si aggiunge al circuito, essendo p uguale a 0 questa corrispondenza sarà uguale ad n, cioè che l' intensità della corrente della pila è proporzionale al numero degli elemenli t: al contrario essendo p grandissimo la corrispondenza riducesi all' unità, cioè che l' intensità della corrente della pila è allora soltanto eguale a quella di uno degli elementi.

Questo risultamento spiega perchè le pile di gran superficie e di picciola tensione generalmente non possono produrre alcuna azione chimica: dappoichè appena la corrente deve passare per un cattivo conduttore, il quale perciò viene espresso da una grandissima lunghezza di filo, la congiunzione polo con polo di parecchi elementi non può dar niente di più di un' elemento solo a cagion delle derivazioni.

Tutti i fenomeni oltremodo svariati, che presentano questi sistemi di pile, sono stati verificati con dell' esperienze analoghe alle precedenti.

Paragone delle diverse sorgenti elettriche e determinazione della quantità di elettricismo, ch' è necessaria per decomporre un grammo di acqua.

297. *Corrispondenza di conduttibilità de' liquidi e dei metalli.* — Per giungere al paragone delle diverse sorgenti elettriche, prima di tutto è mestiere dare un' immagine della conduttibilità relativa de' liquidi e de' metalli. Ora tanto pe' liquidi che pei metalli accade che l' intensità della corrente è in ragione diretta della sezione ed in ragione inversa della lunghezza.

La qual proposizione fondamentale si dimostra del modo seguente:

Si dispongono diversi sistemi di tubi simili a quello rappresentato nella figura 467, essendo i due tubi di un sistema medesimo sempre uguali e perfettamente cilindrici; si riempiono di un liquido, e si fà passare una

corrente per la bussola di seno (*fig. 462*) e pei tubi, stabilendo di mano in mano le comunicazioni in tre modi diversi, per aver nella bussola tre deviazioni diverse.

Nella prima sperienza la corrente passa solo per l'uno de' tubi, e così attraversa una colonna liquida di lunghezza 1 e di sezione 1;

Nella seconda esperienza la corrente passa pe' due tubi ad un tempo ed attraversa una colonna di lunghezza 1 e di sezione 2;

Nella terza esperienza la corrente passa per l'uno de' tubi, poi ritorna per l'altro, e quindi attraversa una lunghezza 2 ed una sezione 1.

Paragonando le tre deviazioni, che ne risultano, si vede che in fatti l'intensità della corrente è in ragion diretta della sezione ed in ragione inversa della lunghezza.

Quando si opera con tubi larghissimi ripieni di liquidi buoni conduttori, è mestieri tener ragione della resistenza della pila e della lunghezza del filo, che passa sopra la bussola: ma pe' tubi stretti e lunghi ripieni di liquidi cattivi conduttori il filo e la resistenza della pila possono essere negletti. In tutt'i casi bisogna per l'esperienze comparative del liquido medesimo stabilire le comunicazioni toccando il liquido con lo stesso metallo, e scegliere il metallo perchè non provi un'azione chimica, che turbi i risultamenti; sicchè toccando acqua salsa con argento il cloruro di argento, che si forma, intorbida dall'uno all'altro istante tutt'i risultamenti.

Questa legge generica dell'intensità in ragion diretta della sezione ed in ragion inversa della lunghezza si applica a tutte le colonne liquide, che io ho avuto l'opportunità di sperimentare, purchè la lunghezza loro agguaglia almeno cinque o sei volte il loro diametro.

Posto questo principio il paragone delle conduttibilità diviene facilissimo, bastando di paragonare un liquido solo ad un metallo, e di far dopo il paragone di questo liquido con tutti gli altri:

Il liquido da me scelto è una dissoluzione saturata di solfato di rame alla temperatura di 15°, ed io ho proceduto nel modo seguente per paragonare la conduttibilità sua a quella del platino.

Su di una piastra 2 metri lunga, e di una convenevol larghezza si è piantato a ciascuno estremo un ordine di piccole caviglie di legno 2 centimetri alte; del diametro di 5 millimetri, e separate di un centimetro da centro a centro; poi si è fatto passare un filo di platino da una caviglia alla sua corrispondente dall'altro capo della piastra, insino a che i 200 metri di lunghezza del filo fossero in tal modo spasi senza toccarsi; a ciasuna caviglia di un ordine corrispondono in tal guisa 4 metri di filo, il che dà 50 caviglie in ciascun' ordine: il filo è in ciascuna arrestato da una goccia di cera da suggello.

Accanto di quest' apparecchio si è disposto orizzontalmente un lungo tubo cilindrico, 1 metro lungo e del diametro di 20 millimetri, e ripieno della dissoluzione di solfato di rame; poi si è fatta passare la corrente di una pila sopra una bussola e per la dissoluzione, attentamente osservando la deviazione corrispondente, subito dopo si è fatta passare la corrente medesima per la stessa bussola e per una lunghezza convenevole del filo di platino, in guisa che si ottenga per la bussola la deviazione medesima, il che non esige lunghi tasteggiamenti, perchè il filo di platino si tocca con un pezzetto di rame bene amalgamato, che si è fatto passare da un filo all'altro, o che si passa sul filo medesimo, sino a che la condizione venga adempiuta: chiaro è in questo caso che la lunghezza del filo di platino, la qual deesi nel circuito introdurre, è alla colonna liquida equivalente; quindi la conduttibilità del platino e quella di un liquido sono tra loro, come la corrispondenza diretta delle lunghezze moltiplicata per la corrispondenza inversa delle sezioni.

La lunghezza del filo di platino è di 132 metri, ed il suo diametro $\frac{144}{1000}$ di millimetro.

La lunghezza della colonna liquida è 1 metro, ed il suo diametro 20 millimetri.

Dal chè si può di leggieri conchiudere che la conduttibilità del platino e : 2546680,
cioè essa è due milioni di volte e mezzo più grande di quella del solfato di rame.

Essendo la conduttibilità del rame sei volte e mezzo

quella del platino, ben si vede che la è sedici milioni di volte maggiore di quella della soluzione, e quella del palladio è circa trenta milioni di volte più grande.

Ora io per paragonare gli altri liquidi al solfato di rame fò uso dell'apparecchio rappresentato nella figura 468. Il quale è composto di tre tubi cilindrici di diversi diametri terminati giù con turacci di rame, e che nella parte loro superiore ricevono un lungo filo di rame, il quale può immergersi più o meno nei tubi, dove trovasi la dissoluzione saturata di solfato di rame. L'altro liquido, in un tubo orizzontale parimente cilindrico e di convenevoli dimenzioni. Si fa passar la corrente per la bussola e per il liquido che deve provarsi; poi si fa passar per la bussola e per quello de'tubi verticali che meglio conviene, immergendo il filo di rame, insino a che si giunga ad ottenere la deviazione medesima dell'esperienza, che si è fatto col liquido; allora basta paragonar le lunghezze e le sezioni delle colonne sottoposte alla prova.

Ecco alcuni risultamenti dell'esperienze:

liquidi.	conduttibilità.
Dissoluzione di solfato di rame saturata	1, 0000
Id. allungata di 1 vol. di acqua	0, 6400
Id. id. 2 vol. di acqua.	0, 4400
Id. id. 4 vol. di acqua.	0, 3100
Id. di zinco saturata.	0, 4170
Acqua distillata.	0, 0025
Id. con $\frac{1}{20000}$ di acido nitrico.	0, 015

Per il solfato di zinco il contatto del liquido ha avuto luogo con del zinco, e con del platino per l'acqua.

298. *Corrispondenza d'intensità delle correnti termo-elettriche ed idro-elettriche.* — Erasi potuto finora supporre che le correnti termo-elettriche ed idro-elettriche avessero essenziali diversità tra loro, stando alla natura medesima della loro origine; ma l'identità delle leggi, a cui sono connesse, può fare ora presumere ch'esse in realtà non differiscono, se non per la loro intensità.

Un metodo, per mezzo del quale si può sotto questo

aspetto paragonarle, non è adunque senza importanza, e noi faremo noto coll'esempio quello che abbiamo usato.

Una corrente termo-elettrica prodotta da un elemento bismuto e rame, dà alla bussola pirometrica un deviamento di 16°; la differenza delle temperature delle due saldature è 100° e la lunghezza *totale* del circuito equivale a 50 metri di un filo di rame avente un millimetro di diametro ed una conduttibilità 6, 5 rispetto al filo di platino di 200 metri della precedente esperienza.

Una corrente idro-elettrica prodotta da una pila ordinaria di dodici elementi, debolissima, dà alla stessa bussola una deviazione simile di 16°; ma bisogna a ciò che la lunghezza *totale* del circuito sia di 180 metri del filo di platino. In quest'esperienza si varia, siccome abbiamo detto, la lunghezza del filo di platino a piacere, perchè si abbia la deviazione medesima; e s'intende bene che nei 180 metri van compresi la resistenza della pila, la lunghezza ridotta della bussola, e quella degli altri conduttori.

Avendo queste due correnti la medesima intensità, le sorgenti, che le producono, sono tra loro come le lunghezze de' circuiti, venendo espresse queste lunghezze dal filo medesimo.

Ora essendo il diametro del rame 1^{mm}, e la sua conduttibilità 6, 5, ed il diametro del filo di platino essendo 0^{mm}, 144, e la sua conduttibilità 1,

Facil cosa è di vedere che 1^{m} del filo di platino equivale a 313^{m} del filo di rame, e che per conseguenza 180^{m} equivalgono a 56340^{m}. Sicchè il circuito termoelettrico essendo di 50^{m} ed il circuito idro-elettrico di 56340^{m} del filo medesimo, la sorgente idro-elettrica vale 1127 volte la sorgente termo-elettrica. Era, siccome abbiam detto, oltremodo debole la pila di 12 paia; io credo che avrebbesi potuto renderla 100 volte più forte, e che una pila di 12 paia moltissimo energica dia una corrente, la cui intensità può essere 100,000 volte più di quella di un elemento bismuto e rame, avente una differenza di temperatura di 100°; epperò 10 milioni di volte più grande di quella della corrente prodotta da un elemento bismu-

to e rame, le cui saldature non hanno che 1° di differenza di temperatura.

Agevolmente si scorge che questo metodo di paragonare può a qualsivoglia pila applicarsi, e che non farebbe mestieri usare un filo di platino più lungo di quel che abbiamo adoperato; potendosi di leggieri affievolir la corrente della più forte pila con farla attraversar da colonne liquide di dimensione e conduttibilità cognite, le quali sarebbero poscia valutate in lunghezza di filo di platino.

299. *Diffinizioni delle intensità delle correnti, della quantità di elettricismo, che le costituisce, e della tensione delle sorgenti elettriche.* — Correnti della medesima intensità possono chiamarsi quelle, le quali producono la medesima deviazione operando allo stesso modo sul medesimo ago calamitato: allorchè per esempio si dice tutte le parti di un circuito avere la medesima intensità, non s'intende dire altro, se non che prendendo lunghezze uguali sopra queste parti diverse, esse producono uguali deviazioni sopra un ago medesimo, quando operano sotto lo stesso angolo, ed alla distanza stessa, o generalmente allo stesso modo. Ora nelle bussole nostre di seno essendo le intensità così definite proporzionali ai seni della deviazione, chiara cosa è che una corrente avrà un intensità doppia o tripla dell'intensità di un'altra corrente, quando produrrà deviazioni, i cui seni doppî o tripli saranno.

Quantità di elettricismo. Ora importa di esaminare le corrispondenze, che vi possono essere fra l'intensità delle correnti e le quantità di elettricismo in moto, che le costituiscono. Crescendo la intensità di una corrente, la quantità di elettricismo, che è in circolazione per costituirla, cresce essa nella corrispondenza medesima? Per risolvere siffatta quistione si può ammettere come certo che la quantità di elettricismo, la quale passa in un circuito di un'intensità costante, è proporzionale al tempo, cioè che in 2" passa una volta altrettanto che in 1" ec., ec. Sicchè basta esaminare se, riducendo a mezzo il tempo, in cui passa una corrente, riducesi del pari a mezzo l'azione sua sopra l'ago; dappoichè, se così è, sarà vero il dire

che la quantità di elettricismo è proporzionale all' effetto elettro-magnetico della corrente, od alla sua intensità.

Tra i mezzi, che si presentano per ridurre il tempo dell'azione di una corrente sopra l'ago, senza cessar d'ottenere un deviamento, che sia lo stesso durante l'azione e l'interruzione, io ho adottato il seguente:

Ho fatto costruire diverse ruote dentate di metallo simili a quella rappresentata nella figura 469; i denti son rettangolari, e l'intervallo loro è ripieno con denti di legno: non di meno il taglio della ruota trovasi unito come il giro di un disco, e presenta così delle superficie alternatamente conduttrici e non conduttrici, essendo così le prime che le seconde tutte eguali fra loro; essendo purtuttavia mutabile la loro corrispondenza da una ruota all'altra.

Nella figura 469 il dente metallico è uguale al dente di legno, e questa ruota allogata su di un asse metallico può ricevere un moto di rotazione rapido fuor di misura; l'uno dei poli della pila comunica con l' asse, e l' altro con un filo più o meno lungo, il qual passa nella bussola della figura 462, e va poscia a terminare in una picciola linguetta *l*, il cui estremo preme alquanto contro il taglio della ruota; questa linguetta è in modo disposta da non provare alcuna sensibile vibrazione. Durante il riposo, quando la linguetta tocca un dente metallico, la corrente passa per intero, e può osservarsi la deviazione, che imprime alla bussola: quando al contrario la linguetta tocca un dente di legno, la corrente non passa più, e l'ago della bussola ritorna al zero. Allorchè il moto della ruota è lentissimo l' ago oscilla nè punto si ferma; ma siccome si affretta; le oscillazioni diminuiscono di ampiezze, e subito si giunge ad una certa velocità, per la quale l'ago rimane fisso perfettamente; e da questo punto la velocità si può accrescere smisuratamente, senza che l' ago cessi di rimanere immobile e di segnare la deviazione medesima.

Per esempio in una esperienza era la deviazione durante il riposo 60°; essendo posta in moto la ruota, è bisognato fare cinque giri circa a *minuto*, perchè l'ago di

oscillare cessasse, esso allora segnava una deviazione di 25° 45'; e quando la velocità fu portata a venti giri per *secondo*, l'ago è rimasto immobile a 25° 45'; essendo il seno di 60° doppio del seno 25° 45', di qui procede che, durante il moto, l'intensità della corrente è stata ridotta a metà. Ora la ruota aveva centoventi denti, sessanta di legno e sessanta metallici: quando essa faceva venti giri per secondo, passava duemila quattrocento denti in 1''; sicchè eravi milledugento volte passaggio della corrente durante $\frac{1''}{2400}$ e milledugento volte interruzione durante il tempo medesimo. Se durante ogni contatto poteasi non far passare che la metà della corrente, e ritenere l'altra per farla passare durante l'intermittenza, manifesta cosa è che avrebbesi una corrente continua formata da una quantità di elettricismo metà minore, e che segna una deviazione 25° 45'. Dal che finalmente risulta che la quantità di elettricismo, che stabilisce la corrente, è proporzionale all'intensità di essa corrente; sicchè *le intensità* possono esser prese per *la misura delle quantità dell'elettricismo*.

Quest'esperienze sono state fatte con ruote, nelle quali i denti di legno e quei di metallo avevano altre corrispondenze, ed hanno condotto al medesimo risultamento: solo vuolsi porre ben mente che i fili, i quali compongono il circuito, non facciano rivolgimenti sopra sè stessi, perocchè in virtù della reazione, di cui abbiam fatto parola (277) allora si osservano dei risultamenti interamente diversi, ed è un mezzo utilissimo di studiare questi notabili fenomeni di reazione, e di esaminare i rivolgimenti di correnti, che alcune volte producono.

La precedente proposizione ci ha condotti a questa conseguenza, che una medesima sorgente elettrica può nel tempo medesimo dare quantità di elettricismo diversissime, e che queste quantità sono precisamente in ragion inversa delle lunghezze dei circuiti, che la corrente attraversa, essendo le lunghezze riferite ad una medesima unità o ad un medesimo filo. In fatti poichè l'intensità di una corrente è ridotta a metà, raddoppiando la lunghezza totale del circuito, è chiaro che la quantità di elettricismo, che allora nel tempo medesimo passa, trovasi ridot-

to a metà, essendo sempre proporzionale all'intensità della corrente. Adunque le sorgenti elettriche non possono essere in alcun modo definite o caratterizzate, nè dalla quantità di elettricismo, che mettono in circolazione, nè dalla intensità delle correnti, che producono; essendo questi elementi essenzialmente variabili e ligati, siccome poco fa vedemmo, con leggi semplicissime alla natura del circuito, in cui passa la corrente derivata dalla sorgente.

Tensioni delle sorgenti elettriche. Ma evvi un'altro elemento, che può distinguere le sorgenti elettriche, ed è la tensione che noi faremo di diffinire a rigore. Noi chiamiamo *sorgenti elettriche della tensione medesima*, quelle, le quali nel circuito medesimo danno correnti di stessa intensità; ed una sorgente avrà una tension doppia di un'altra, quando nello stesso circuito darà una corrente di una intensità doppia ec. ec.

I principii da noi stabiliti per trasformare un circuito in un altro equivalente concedono sempre di strettamente paragonare due qualsisiano circuiti; del resto noi entreremo in qualche particolare.

Se per esempio consideriamo la sorgente termo-elettrica bismuto e rame, noi diremo che la sua tensione cresce proporzionalmente alla differenza di temperatura delle due saldature, dappoicch'essa nel circuito medesimo dà correnti, la cui intensità cresce in ragion diretta di tal differenza.

Considerando ora una pila idro-elettrica ordinaria di un qualsiasi numero di elementi, la cui resistenza sia per esempio 100 metri di un filo di rame, e la cui corrente abbia una certa intensità 1, allorchè si fa compiuto il circuito con un filo consimile 20 metri lungo, dipoi, se aggiungendo dell'acido trovasi che la resistenza riducesi a 20 metri, e che compiendo collo stesso filo di venti metri il circuito l'intensità sua trovasi quadrupla, noi diremo che la tensione della pila non è mutata, comechè appaia quattro volte più forte: dappoichè nel primo caso il suo circuito era di 120 metri ed è nel secondo di 30: quì adunque ad eguaglianza di tensione quadrupla debb'essere l'intensità. Se al contrario aggiungendo l'acido la resistenza rimane

la stessa, e se col medesimo filo addizionale di 20 metri l'intensità è decuplata noi diremo che la tensione lo è altresì, poichè l'intensità è decupla con lo stesso circuito.

Le quali considerazioni, che ci duole l'animo non potere sviluppare dippiù, la chiave sono di un gran numero di fenomeni, i quali appariscono inesplicabili, quando non si riferiscono alle leggi fondamentali, che noi ci siamo sforzati di stabilire.

300. *Sorgente elettrica presa per unità di tensione.* — Dappoichè le sorgenti elettriche strettamente possono venir diffinite dalle tensioni loro, è di gravissimo momento avere una comune unità, alla quale tutti gli osservatori possan riferire i risultamenti. L'unità, che mi è paruta più convenevole per adempiere lo scopo è la sorgente termo-elettrica bismuto e rame, di cui abbiam parlato (**289**), che abbiamo indicata, come quella che può servire alla misura del magnetismo terrestre.

Per riferire a questa unità la tensione di una qualsivoglia sorgente basta trovare le sensibilità relative della *bussola terrestre* (fig. 452) e di un'altra bussola atta a misurare l'intensità della corrente prodotta dalla sorgente, di cui si vuole avere la tensione. Se per esempio si tratta della gran bussola della figura 462, la qual puol servire a tutte le correnti idro-elettriche alquanto energiche, ci si procede nel modo che segue:

Sul quadro della bussola grande si fanno passar cento giri di un filo sottilissimo; dipoi prendendo una qualsivoglia corrente sufficientemente indebolita o da una lunghezza convenevole del filo di platino di 200 metri o da colonne liquide, si costringe questa corrente di passare ad un tempo per la bussola grande e sulla bussola terrestre fornita del suo filo di 20 metri, e si osservano le deviazioni, che ne risultano.

Sia d la deviazione della bussola terrestre e d' quella della bussola grande; la sensibilità s di questa co'suoi cento giri sarà:

$$s = \frac{sen.\ d'}{sen.\ d},$$

prendendo per unità la sensibilità della bussola terrestre co' suoi venti giri.

Ora per un giro della bussola grande la sensibilità sua sarà:

$$\frac{s}{100},$$

e per un numero n di giri sarà

$$\frac{n\,s}{100}.$$

Conosciuto una volta il valore di s quando si vorrà paragonare la tensione di una sorgente a quella, ch'è presa per unitá, bisognerà: 1° determinare la lunghezza totale m del circuito, che compone la corrente di siffatta sorgente, valutandola per mezzo del filo di rame della bussola terrestre; 2° osservar la deviazione a, che la corrente produce sulla bussola grande con un numero n di giri, scegliendo questo numero di giri in modo, che la deviazione sia per lo meno 4 ovvero 5 gradi, ed al più di 65 ovvero 70.

Semplice sarà il calcolo allora, chè con una sensibilità cognita $\frac{n\,s}{100}$, essendo l'intensità della corrente *sen.a*, essa sarebbe:

$$\frac{100}{n\,s}\ sen.\ a$$

sulla bussola terrestre, la cui sensibilità è 1.

La corrente della sorgente presa per unità producendo sullo stesso apparecchio una deviazione d, l'intensità della prima corrente è a quella della seconda come $\frac{100}{n\,s}$ *sen. a* è a *sen. d*.

Sapendosi la corrispondenza delle intensità basterà moltiplicarla per quella delle lunghezze per avere la corrispondenza delle tensioni, o la tensione t della sorgente, la quale per conseguenza sarà:

$$l = \frac{m}{20} \cdot \frac{100}{ns} \cdot \frac{sen.a}{sen.d}.$$

301. *Quantità di elettricismo necessaria a decomporre un grammo di acqua.* — L'apparecchio, che ci è servito alla decomposizione dell' acqua, è rappresentato nelle figure 470 e 471. Esso è disposto in modo che i fili di platino, che al tubo di vetro sono saldati, rimangono giusto ad uguale distanza per tutta la durata di una esperienza. La campana destinata a ricever l'idrogeno è lunga, stretta e graduata, perchè il volume di questo gas possa venir esattamente misurato. Accanto di tale apparecchio evvi un oriuolo, col quale si nota con precisione la durata dell'esperienza dal momento, che la comunicazione si stabilisce sino a che si ottiene il volume d'idrogeno a cui si vuole fermarsi. Questo volume è stato di 2 centimetri cubici per le decomposizioni lente, e di 6, 8 ovvero 10 centimetri cubici per quelle rapide: ma tutte queste sperienze sonosi ridotte a 2 centimetri cubici.

Si procede nel modo che segue:

Per mezzo di precedenti esperienze si determina la resistenza della pila, quella del liquido sottoposto alla decomposizione e quella degli altri conduttori. Questa resistenza totale è espressa in lunghezza del filo di rame della bussola grande di seno (*fig. 462*), ch' è un' apparecchio oltremodo acconcio per siffatte ricerche. Conosciuta questa resistenza una volta, trovasi del pari la lunghezza totale del circuito: fatto ciò si rompono le comunicazioni per empiere di liquido le campane, si rilogano i fili di platino, e si calcola il tempo nel momento che le comunicazioni sono ristabilite; parimente si osserva la deviazion della bussola, che rimane costante, e si lascia procedere l'esperimento, insino a che siasi ottenuto il convenevol volume d' idrogeno.

La seguente tavola contiene una serie di esperimenti di tal sorta.

NUMERI dell'esperienza.	NATURA del Liquido.	METALLO che forma i poli. Polo positivo.	Polo negativo.	NUMERO dei secondi per ottenere due centimetri cubici d'idrogeno.	DEVIAZIONE dell'ago della bussola.	SENOI della deviazione, o intensità.	PRODOTTO dell'intensità pel tempo.
1	Acqua distillata con acido solforico.	Platino	Platino	498''	5° 50'	0, 1016	50, 60
2		Id. . . .	Id. . . .	510	5 40	0, 0987	50, 34
3	Liquido precedente allungato di un volume di acqua distillata.	Id. . . .	Id. . . .	725	4 »	0, 0697	50, 53
4		Id. . . .	Id. . . .	728	4 »	0, 0697	50, 74
5		Id. . . .	Id. . . .	919	3 10	0, 0552	50, 73
6	Acqua ordinaria con acido solforico.	Id. . . .	Id. . . .	417	6 50	0, 1190	49, 62
7		Id. . . .	Id. . . .	423	6 45	0, 1175	49, 70
8		Rame	Id. . . .	251	11 20	0, 1965	49, 32
9		Id. . . .	Id. . . .	247	11 30	0, 1994	49, 25
10		Id. . . .	Id. . . .	247	11 30	0, 1994	49, 25
11		Zinco	Id. . . .	239	12 »	0, 2080	49, 71
12		Id. . . .	Id. . . .	258	11 »	0, 1908	49, 22
13		Plaïno	Id. . . .	684	4 10	0, 0724	49, 50
14	Acido solforico allungato.	Id. . . .	Id. . . .	77	40 »	0, 6428	49, 50

La terza colonna di questa tavola indica la natura del metallo, che forma il polo positivo, a cui si conduce l'ossigeno procedente dalla decomposizione: importante si è questa indicazione, perchè accade che, *rimanendo tutte le condizioni le stesse*, se al platino del polo positivo si sostituisce una lamina di rame o di zinco, la corrente acquista una intensità molto maggiore all'istante: pel zinco essa diventa tripla, qualunque poi siasi l'intensità primitiva. Questo fenomeno estremamente notevole non procede dall'azione chimica, che il zinco prova, ma da altre cagioni dipende, lo studio delle quali spargerà senza dubbio una luce novella sulle leggi della comunicazione dell'elettricismo.

Intanto la settima colonna della tavola fa vedere che, non ostante quest' azione notabile, il prodotto del tempo per l'intensità della corrente dà un numero costante; o in altri termini che la quantità d'idrogeno posta in libertà è sempre proporzionale all' intensità della corrente, o che essa risulti dalla forza della pila, o dalla conduttibilità del liquido sottoposto alla prova, o da qualsiasi altra circostanza.

Ora siccome noi abbiamo veduto dianzi che l'intensità della corrente è proporzionale alla quantità di elettricismo, che passa, di qui procede che la quantità d'idrogeno sviluppata è essa medesima proporzionale alla quantità di elettricismo, che alla sua decomposizione concorre, o infine che fa sempre mestieri la medesima quantità di elettricismo per decomporre un grammo di acqua.

Ora rimane a trovare qual è questa quantità di elettricismo; il che diventa facilissimo dietro i principi da noi stabiliti.

Di fatto scegliendo, per esempio, le due prime osservazioni della tavola, l'esperienza ha mostrato che l'intera lunghezza del circuito era equivalente a 5679 metri del filo di rame di 1 millimetro di diametro, cioè: 5531 metri per la resistenza del liquido sottoposto alla decomposizione, e 148 metri per quella della pila medesima e del filo della bussola.

Dall' altra parte si è osservato che l'intensità di questa corrente era 2, 665 rispetto alla corrente di 20 metri della sorgente termo-elettrica.

Sicchè la quantità di elettricismo, che passa nell'acqua acidulata per operarne la decomposizione e per dare 2^{cc} d' idrogeno in 500'' è 2, 665 volte la quantità, che nello stesso tempo passa per l'elemento bismuto e rame preso per unità.

Parimente si vede che la tension della pila, che produce la decomposizione, è:

$$2,665 \times \frac{5679}{20} = 756,72.$$

Un grammo di acqua contenendo 1241^{cc}, 61 d'idrogeno si vede bene che per operare la decomposizione di un grammo di acqua bisogna una quantità di elettricità espressa da

$$1654,445,$$

cioè più di 1600 volte quella, che passa durante 500 secondi nella sorgente presa per unità, e se prendesi per unità di tempo il minuto, si vede in fine che la quantità di elettricismo necessaria a decomporre un grammo di acqua è

$$13787.$$

Sicchè o che un grammo di acqua appartenga ad un liquido buono o cattivo conduttore, o che trovisi decomposto da una pila fortissima o debolissima, sempre per separarne gli elementi bisognerà una quantità di elettricismo uguale a 13787 volte la quantità di elettricismo, che in 1 minuto passa in un circuito bismuto e rame, la cui lunghezza totale equivale a 20 metri di un fil di rame del diametro di 1 millimetro, e le cui due saldature hanno una differenza di temperatura di 100°.

FINE DEL SECONDO VOLUME.

NOTE

DEL TRADUTTORE.

Pag. 30. (1) L'Italiano, il Tedesco, il Francese, e l'Inglese si disputano questa maravigliosa scoperta. E bene possono da queste nazioni venir sostenute le scambievoli gare, essendo stata la bussola successivamente da loro perfezionata. Certo il silenzio di Plinio ci dee far supporre che gli antichi non conoscevano nella calamita la proprietà di volgersi ai due poli del Mondo. Noi leggiamo in una delle *lettere edificanti dei missionari stranieri*, che i Cinesi fanno uso di questo istrumento da molti secoli; ma che la lor bussola non ha veramente ago calamitato, sibbene un ago tinto con un certo empiastro composto di vari ingredienti, il quale pur comunica al ferro la virtù di volgersi a settentrione. Adunque non pare sussistente l'opinione di chi crede che Marco Polo l'avesse introdotta in Europa. Molti scrittori opinano, che ne fossero stati gli Arabi stabiliti nella Puglia gl'inventori, come popolo che tanto ha contribuito con le sue scoperte al risorgimento degli studi in Europa. Nondimeno, se si vuol confessare il vero, tutte le congetture concorrono in favore di Flavio Gioja, e c'inducono a non negargli la gloria di così nobile invenzione. Che se da alcuni si dubita ancora che il Gioja l'abbia inventata, egli fu al certo che ne fece conoscere l'uso, e l'applicò alla navigazione fra noi; del che fanno fede specialmente i lunghi ed arditi viaggi di mare intrapresi dagli Amalfitani. Del resto non è qui luogo da disputarne, ma si potranno leggere le *storie di matematica del* Montucla, e del Bossut, le *opere di letteratura* dei Signori Andres, Tiraboschi e Voltaire.

Pag. 34. (2) L'Ab. Fazzini congiungeva con un filo metallico due aghi paralleli ugualmente calamitati, e coi poli di diverso nome dalla medesima parte, disposizione chiamata dai fisici ago *astatico*; li sospendeva ad un fil di seta tal quale era uscito dal bozzolo, e li collocava in una campana di vetro per evitare le oscillazioni dell'a-

ria. Facendo cadere or dall'una or dall'altra parte dei poli dell'ago un raggio di luce concentrato mercè di una lente, osservava nell'ago un movimento di 6° in 7° dalla parte opposta a quella dove cadeva il raggio di luce. Chiara dunque appariva una spezie di ripulsione tra la luce ed il magnetismo, la qual sembra svelare la causa, onde avviene che al primo apparir del sole sull' orizzonte l'ago magnetico si mette in moto, ed il polo australe, cioè l'estremità nord, muove verso l'occidente per far ritorno nel tramontare dell' astro maggiore all' oriente (*Fas. XIX. An. Civ. tom. 10 p. XVIII*).

Pag. 38. (3) Il Sig. Capocci con l'esatta bussola di declinazione del Sig. Gambey nel R. Osservatorio di Napoli ha notato che l'ago magnetico al principio dell'anno 1839 nell'eruzione del Vesuvio diminuì di 25' in circa: mentre nei primi mesi del 1840 la diminuzione è stata di circa 15o 5o' owest.

Pag. 39. (4) Per dimostrare il principio già assunto dall' Autore cioè che le forze sono tra loro come i quadrati dei numeri delle vibrazioni fatte in un dato tempo, convien ricordarsi dell' altro, cioè che le lunghezze dei pendoli sono tra loro in ragione inversa dei quadrati dei numeri delle vibrazioni fatte in un dato tempo.

Avendo il Pouillet assimigliato l'ago magnetico ad un pendolo composto, e poichè nei pendoli, essendo le forze le stesse, la durata delle vibrazioni dipende dalla lunghezza di essi pendoli; nel caso nostro, la variazione del numero delle vibrazioni dipende dalla forza magnetica, restando la lunghezza del pendolo sempre la stessa; quindi è ch'essa forza magnetica è in una corrispondenza costante coi quadrati dei numeri di vibrazioni. In modo che se per un pendolo della lunghezza di un metro il quadrato del numero di vibrazioni in un dato tempo fosse stato 100, e se vibrando nello stesso tempo l'ago magnetico il quadrato del numero delle vibrazioni fosse stato 81, allora conchiuderemmo che la forza magnetica è diminuita.

Or essendo m la forza magnetica quando l'ago fa n vibrazioni in un dato tempo, ed m' quando esso fa n' vibrazioni nel medesimo tempo; avremo per ciò che si è dimostrato.

$$m : m' : : n^2 : n'^2$$

e quindi
$$\frac{m}{m'} = \frac{n^2}{n'^2}$$

Pag. 73. (5) L'Ab. Fazzini praticava ripetuti esperimenti con aghi picciolissimi, e privi affatto di magnetismo. In prima credette ravvisare un potere magnetizzante nei raggi solari efficacemente concentrati con una lente; bastante a rendere quei picciolissimi aghi tante piccole calamite artifiziali; ma più tardi conobbe che ciò dipendeva dal perchè, dietro operazioni meccaniche indispensabili per la formazione dei medesimi, evvi sempre una piccola separazione nei fluidi magnetici. Ma non per questo si debbono distruggere i decisivi risultamenti ottenuti dal Morichini, come il nostro Autore pretende; mentre quasi tutti i fisici gli ammettono come i più esatti ed i più felici che si conoscano finora.

Pag. 156. (6) Quando si vuole ottenere l'azione più forte, ma meno durevole, si carica con acqua contenente un acido; e l'acido nitrico fra tutti dà la più presta, e forte carica. Dalle osservazioni di Gay-Lussac, e Thènard risulta che l'aggiunzione di 20, 30, 100, ecc. di acido nitrico ad una quantità di acqua fa crescere per 20, 30, 100 la forza della pila. L' acido idroclorico opera con minor forza dell' acido nitrico, ma la sua azione dura più. Più lentamente ancora operano le soluzioni saline ma l'azione loro è anche più durevole, e sono fra queste più opportune quelle del sale ammoniaco nell' acqua, e del sale comune nell'aceto.

L'acqua pura anche potrebbe adoperarsi, ma deboli sono gli effetti da essa prodotti, dappoich' essa è liquido cattivo conduttore, e gli effetti si aumentano a misura che un liquido meglio conduce l' elettricità.

Pag. 157. (7) Il primo a cui venne l' idea di applicare l' elettricità alla cura delle malattie fu nello scorso secolo l' Abate Nollet; e quando il Volta non aveva ancora trovata la pila, vi adoperava solo l'elettricità per isfregamento; dipoi anche la pila si è usata. Il Marianini dotto medico e fisico italiano faceva fra gli altri le più felici applicazioni degli effetti della pila come mezzi terapeutici. Ma per quanto si può dedurre dagli esperimenti fatti, pare che siasi veduta qualche utilità terapeutica dell'elettricità sviluppata o per isfregamento o per contatto nelle affezioni nervose, e specialmente paralitiche. Alcuni menano tanto rumore degli effetti terapeutici dell' elettricismo, che per essi è quasi la panacea universale, altri al contrario li dispregiano affatto: ma ei sembra che invece di perdersi in vane ed astratte discussioni su questo soggetto

*

sarebbe meglio replicare ed accrescere gli esperimenti con sane vedute cliniche, imperocchè dimostrarli veramente utili pure in una malattia non poco acquisto sarebbe alla materia medica tanto sterile.

Pag. 200. (8) Il Sig. Pouillet, per maggior comodo e meno dispendio, all'apparecchio del Sig. Ampère sostituisce alcuni apparecchi da lui immaginati; che, conosciutane l'utilità, sono stati adottati nell'Università ed in tutti i collegi della Francia. Ma siccome i gabinetti d'Italia si trovano generalmente forniti del grande ed ultimo apparecchio elettro-dinamico di Ampère; così crediamo utile riferire con le sue stesse parole il luogo ove si potrà attingere il maneggio del detto apparecchio.

« Nel mese di febbraio 1821 costruii un apparecchio col quale si poteano fare tutte l'esperienze allora conosciute sui fenomeni elettro-dinamici. Questo apparecchio è stato descritto nel tomo XVIII degli *Annali di Chimica e di Fisica*, pagine 88—106 e 313—329. Mi sono occupato in seguito, da una parte, a renderne più facile l'uso, e da un'altra parte, a stenderne l'impiego all'esperienze relative ai nuovi fatti di cui la scienza arricchivasi ogni dì. Si può consultare nell'opera del Sig. Demonferrand i principali mutamenti ch'io successivamente ho ivi fatto »

La memoria, ove queste cose sono scritte ha per titolo: *Descrizione di un apparecchio elettro-dinamico del Sig. Ampère Parigi 1826*. L'opera di Demonferrand sopra citata viene intitolata: *Manuale di elettricità dinamica*. Si può consultare ancora con successo la dissertazione de' dotti Padri Gesuiti messa in litografia, ove trovasi puranche esposta la teoria matematica della pila Voltiana; od anche la lunga analisi tanto dei fenomeni, come del modo onde mettere in uso l'apparecchio riportato dal Sig. Ab. Scinà (Vol. 11 pag. 38 – 63).

Pag. 234. (9) Anche pile tramezzate si potrebbero chiamare quei particolari apparecchi ideati in Italia, in Russia, in Francia ed in Inghilterra per ottenere, mercè le correnti elettriche e per la via umida dello impronte in cavo ed in rilievo conforme alle tracce della forma o modello sottoposti a questi particolari apparecchi.

La gravità dell'opera non permette dar quì notizia sul processo di *galvanoplastica*, che importa in ispezialità agli artisti, ed agli industriali; ma affinchè i giovani non restino digiuni di questa scoperta, che mena tanto rumo-

re ai dì nostri, stimiamo conveniente porla alla fine dell'opera; ove si farà debita menzione dei Sigg. Jacobi Marianini, Cirelli, Kobell, e di altri che si son distinti su questo ritrovato.

Pag. 238. (10) Oltre li scienziati nominati dal Pouillet, si sono pure distinti i Sigg. Galvani, Humboldt, Gay-Lussac, H. Davy, D. Davy, e Linari.

Secondo Galvani le rane convenevolmente preparate, mutilate di fresco, e disposte sul corpo di questo pesce, forti contrazioni provano in ciascuna scarica.

I Sigg. Gay-Lussac ed Humboldt ripeteano in Genova nel 1802 gli esperimenti di Walsh, e tutti li comprovavano, e dippiù riconoscevano ch' ei tentasi invano ottere la commozione, se toccasi l'animale con un conduttore, tenendosi la persona isolata; e che per l'opposito la dà se toccasi direttamente.

Riprese nel 1825 l'esame Onofrio Davy sopra torpedini di Venezia, ma a questo insigne Chimico infelicemente non riuscì arricchire neppure di un'osservazione la scienza. Non fu così di Giovanni fratello minore, il quale trasferitosi nel 1832 all' isola di Malta, potè calamitare picciolissimi aghi di acciaio, disponendo l'apparecchio con due piastre di rame, una sul dorso, sotto il ventre l'altra, e riunite con lunghissimo filo dello stesso metallo ravvolto ad un tubo di vetro a forma d' elica, conforme alle spirali *sinistrorsum*, e *dextrorsum*, che si usa quando vuolsi calamitare piccioli aghi colla corrente galvanica (**238**). Scoverta di grande utilità, dappoichè, se avviene ch'il fulmine sceso dal Cielo piombi sulle navi e colpisca l'ago della bussola, non più esso segnerà il cammino ai naviganti, e non sapranno ove dirigere il loro naviglio. Allora in quei mari ove vive questo pesce, potràssi col metodo di Davy ricalamitare l'ago. Ottenne parimente delle deviazioni galvanometriche, disponendo nello stesso modo le due piastre; e deboli effetti chimici, sebbene questi ultimi risultamenti lasciavano qualche cosa a desiderare.

Pare che il Prof. S. Linari sia stato il primo che avesse visto la scintilla tanto di corrente secondaria che primaria, ricavata la prima dalla torpedine del porto Talamone sul mar Tirreno, ove si condusse a 25 marzo 1836, non che altri fenomeni di correnti elettriche per azione induttiva delle scariche del pesce. L'apparecchio che all' uopo adoperò era un sistema composto di una grande solenoide elettro-magnetica, la quale componc-

vasi di tre quadrati condensatori di Nobili, e di due spirali elettro-dinamiche con entro un ferro dolce, alle quali serviva come di equatore il sistema dei suddetti quadrati — Ottenne ai 25 agosto del 1836 nel porto S. Stefano sul lido Toscano la scintilla di corrente primaria, prima nel voto, e poi nell'aria con apparecchi molto semplici (*V. Luc. n. 21* -- 1840).

Il chiarissimo Matteucci, conosciuto per tante sue ricerche, ed in ispezialità per le elettriche fisiologiche ricavava la scintilla tanto secondaria che primaria, la prima nel 13 maggio 1836 nel porto Cesenatico, con apparecchio elettro-magneto dinamico; e nel 1837 l'ebbe di corrente primaria; applicando le due armature metalliche come ci descrive il Pouillet. (*Bib. Univ.* di Ginev.).

Pag. 241. (11) Non ha guari il Sig. Barone di Humboldt movea vive istanze al Faraday perchè facesse venire in Europa di questi pesci mirabili per arricchire vie maggiormente la scienza; e l'illustre Fisico Inglese cedendo alle onorevoli esortazioni dell'Humboldt, presentava le sue richieste all'Ufficio Coloniale, ove gli si prometteva ogni cooperazione per ottenerne pesci.

Inseriamo qui la lettera del Barone di Humboldt scritta al Faraday dietro un'inchiesta di quest'ultimo Fisico, cioè: *In qual modo si potesse meglio a quel pesce fare attraversare l'Atlantico?* Dalla qual lettera si rileva non solo quanta cura bisogna avere per conservar questi pesci, ma il modo più acconcio per trasportarli.

» Il gimnoto, dic'egli, che abbonda ne' Llanos di Caracas (vicino Calabozo) in tutti i piccoli fiumi, che mettono capo nell'Oceano, nella Guiana Inglese, Francese ed Olandese, non è di difficile trasporto. Noi li perdemmo così tosto perchè furono troppo stancati da esperimenti immediatamente dopo il loro arrivo. Il Sig. Norderling, e Fahlberg li conservarono vivi in Parigi per più di quattro mesi. Io sarei di parere, che da Surinam (da Essequibo, Demerara, Cajenna) si trasportassero di està, giacchè nel suo paese il ginnoto vive in un' acqua di 25°. centigradi (77. Fahr.). Ve ne sono di 5 piedi di lunghezza, ma credo che sarebbero da prescieglìersi quelli di 27 in 28 pollici di estensione. La loro possa varia secondo l'alimento ed il riposo. Muniti di piccolo stomaco, come sono, mangiano poco e sovente; il loro cibo è carne cotta, *non salata*, pescicoli ed an-

che pane. Bisognerebbe far prova della loro forza, e del migliore genere di alimento, prima d'imbarcarli; sarebbe d'uopo inoltre scegliere quei pesci, che sono di già assuefatti alla loro prigione. Io li tenea in una scatola, o trogolo di circa 4 piedi di lunghezza, 16 pollici larga, ed altrettanto profonda. L'acqua dev'essere fresca, e cambiarsi tutti tre o quattro giorni; non bisogna impedire al pesce di venire a galla, dappoichè esso ama di respirare aria. Converrebbe sovrapporre una rete, che circondasse il trogolo, giacchè il ginnoto salta spesso fuori dell'acqua. Ecco tutte le informazioni, che posso darvi. È di grande importanza, che l'animale non sia nè tormentato, nè stancato, restando esso esausto dopo frequenti esplosioni elettriche. Si possono tenere parecchi ginnoti nel medesimo trogolo. »

In questo intervallo di tempo giunse in Londra un ginnoto ai proprietarì del passaggio Adelaide. Impaziente il Sig. Faraday di attendere i desiderati ginnoti, intraprese su di questo un corso di esperienze; ed in prima essendo il pesce ancora languido, ne ottenne delle forti scosse, avendo disposto convenevolmente le mani sul corpo. Per non tormentarlo gli esperimenti si conseguivano da una settimana all'altra. Oltre le mani fece uso di due specie di conduttori; l'uno consistente in una verga di rame lunga 15 pollici con un disco di rame saldato all'estremo del diametro di un pollice e mezzo, ed un cilindro di rame da servire per manico con esteso contatto alla mano. La verga dal disco in sopra era ben coperta di gomma elastica per isolarla dall'acqua, Questa facile disposizione faceva ben conoscere al Faraday le condizioni delle varie parti del corpo del pesce.

La seconda specie d' archi conduttori avea per iscopo di vincere la difficoltà presentata dalla compiuta immersione del pesce nell'acqua. Era formata dunque da una piastra di rame di 8 pollici sopra $2\,^1/_2$ di larghezza piegata a forma di sella, affinchè potesse passare al di sopra del pesce ed abbracciare una certa estensione del dorso e dei fianchi; vi era pur saldato un forte filo di rame, per portare la forza elettrica all'apparecchio dell'esperimento: sulla sella eravi una coverta di gomma elastica con le punte sporgenti al fondo, ed all'estremità; le quali convergevano in maniera da poterle adattare al corpo del pesce, e le punte del fondo erano disposte come per scattare contra qualunque superficie orizzontale, sul-

la quale fossero situate le selle. La parte poi del filo di rame, che doveva entrare nell'acqua, era coperta di gomma elastica.

Questi conduttori applicati sull'animale, riunivano il potere sufficiente a produrre molti effetti elettrici. Per la scintilla poi eravi bisogno di lastre di vetro nel fondo dell'acqua, dappoichè stando il ginnoto su di esse, i conduttori si mettevano sull'animale in modo, che le punte inferiori di gomma elastica posavano sul vetro. Ponendo una mano vicino al capo, e l'altra vicino la coda si otteneva una gagliardissima scossa: più le mani erano d'appresso, in certi limiti, meno poderosa era la scossa. I conduttori a disco (primo genere) trasmettevano benissimo la commozione, quando le mani erano umide, ed applicate con immediato contatto con i manichi cilindrici: ma se questi si teneano con mani asciutte la scossa era nulla, o poco si communicava.

Con un galvanometro non tanto sensibile, e facendo uso dei conduttori a sella (secondo genere) ed applicandoli alle parti anteriori e posteriori del ginnoto, quando dava forti scariche, la deviazione era di 30°: ed una volta l'ago si estese sino a 40°. La deviazione era costante in una data direzione, entrando la corrente elettrica dalle parti anteriori alle posteriori dell'animale, mercè i fili congiuntivi del galvanometro. Le prime adunque erano allora esternamente positive, e le ultime negative.

Mettendo il Faraday nel circuito una piccola elica di 22 piedi di filo di ferro, rivestito di seta, avvolto attorno ad una penna, e con un ago di acciaio situato nell'elica, l'ago diventava una calamita, e la direzione della sua polarità indicava in ogni caso una corrente dalle parti anteriori alle posteriori del ginnoto attraverso i debiti conduttori.

Ottenne la decomposizione chimica, dappoichè bagnando una carta in una soluzione di ioduro di potassio piegata in tre o in quattro fra un piatto di platino, e l'estremità di un filo parimente di platino, entrambi rispettivamente connessi con i due conduttori a sella, appariva ben tosto il ioduro all'estremità del filo, quante volte era in congiunzione col conduttore sulla parte anteriore del ginnoto, e quando era connesso con altro conduttore non compariva affatto. Sicchè anche qui la direzione della corrente fu la stessa, che nei precedenti esperimenti.

L'illustre Fisico, paragonando la parte mezzana con altre parti davanti e di dietro di essa, vide che il conduttore il quale si trovava negativo, quando era poggiato nel mezzo rispetto ad un secondo conduttore, diveniva positivo allorchè poggiava sopra punti vicini alla coda. Per conseguenza sembra che in certi limiti la condizione esterna del pesce al momento della scossa sia tale, che ogni data parte è negativa relativamente alle parti anteriori, e positiva riguardo alle posteriori.

Accintosi il nobile Fisico a discoprire qualche segno di calorico, non fu così felice, come lo era stato per gli antecedenti esperimenti.

La scintilla elettrica fu ottenuta nel modo seguente. Una buona spirale magneto-elettrica con anima di filo di ferro dolce aveva una estremità fissata alla punta di uno dei conduttori a sella, e l'altra fissata ad una lima nuova di acciaio: un'altra lima parimenti d'acciaio era fissata alla punta dell'altro conduttore. Una persona stropicciava la punta di una di queste lime sulla faccia dell'altra, mentre un'altra persona metteva i conduttori sul pesce, e procurava di eccitarlo all'azione. Per mezzo del fregamento delle lime si produceva il contatto, e s'interrompeva freqnentemente: lo scopo era di cogliere il momento della corrente fra il filo e l'elica, e, rompendo il contatto *durante la corrente*, di rendere la elettricità sensibile sotto forma di scintilla.

La scintilla fu ottenuta ben quattro volte. Nè debbesi attribuire all'attrito delle due lime, dappoichè non avea luogo se le lime stropicciavansi indipendentemente dall'animale.

Facendo uso il Faraday di una piastra d'acciaio convolta, tagliata in forma di lima sulla sua superficie, ed invece della lima superiore facendo uso di fili di ferro, rame ed argento, sempre ne ottenne la scintilla.

Quando la scossa è forte non è dissimile a quella di una grande batteria di Leida lievemente caricata, o a quella di una buona batteria del Volta di circa 100 ovvero più paia di elementi, il cui circuito è completo per un istante (*V. un nostro art. del Lucif. n. 29–1840*).

Grande com'è la forza in una semplice scarica, il ginnoto, quale lo descrive Humboldt, e siccome ha frequentemente sperimentato il Faraday, dà una doppia ed anzi una triplice scossa; e questa capacità di ripetere immediatamente l'effetto con un intervallo di tempo appena sensibile è molto importante nelle considerazioni, che debbono sorgere in seguito riguardo all'ori-

gine ed all'eccitazione del potere dell'animale. Walsh, Humboldt, Gay-Lussac, e Matteucci hanno osservato la stessa cosa nella torpedine, ma in un grado molto più mirabile.

L'acqua e la materia conduttrice, che circonda il pesce, son piene di potere elettrico circolante nel momento della scarica.

Da ultimo ed in breve diremo che il Sig. Faraday ha pur visto che il ginnoto uccide i piccoli pesci, che servono a nutrirlo, con le scariche elettriche; e perciò non fia maraviglia, se questo animale è dotato di tanto potere elettrico, comechè viva in un fluido buonissimo conduttore; giacchè questo serve a condurne la forza elettrica, che senza ciò anderebbe in buona parte dispersa. Ed è ancora una conseguenza di questo che, mentre il ginnoto impiega sempre la stessa forza, pure a seconda che il pesce è più grande o più piccolo, così più o meno forte sente la scossa.

Tali furono i generali fenomeni elettrici ottenuti dal Faraday su questo ginnoto, mentre era vivo ed attivo nel suo nativo elemento; nulla potè sperimentare nell'aria, perchè i proprietarî della Galleria Adelaide temendo della vita dell'animale non permisero d'esporlo all'aria. L'Autore non ha parlato di questi lavori, perchè essi vennero eseguiti dopo la pubblicazione della sua opera. Ma noi abbiamo potuto esporli con qualche brevità, perchè in Londra gli abbiamo veduti in parte ripetere dal medesimo Faraday.

Per chi bramasse migliori schiarimenti su quanto si è sperimentato sui pesci elettrici, bisognerebbe consultasse i viaggi di Humboldt, la dotta opera del Becquerel, l'istoria del Cherardi, non che la memoria del Faraday sul gimnoto.

Pag. 246. (12) La scienza non possiede ancora il complesso dei fenomeni d'induzione provenienti dall'azione magnetica della terra; ma di *alcuni fenomeni* di cui intende parlare Pouillet, pare che l'esame ne sia stato fatto con tutta perfezione dai successivi lavori del Faraday, e Nobili con Antinori; non che degli altri più decisivi del Sig. Ab. Fazzini. Non riuscirà discaro di andarli qui riferendo; tanto più che su questa novella branca di fisica rimane molto da sperimentare.

Faraday osservava in due modi la presenza delle correnti d'induzione, che dipendono dal magnetismo terrestre 1. Se un filo di rame è ravvolto a forma di elica

intorno ad un cilindro di cartone viene messo con le due estremità a contatto d'un *reometro moltiplicatore sensibilissimo*, dipoi si situi l'elica secondo la direzione dell'ago d'inclinazione, e vi s'introduce un cilindro di ferro dolce privo di polarità magnetica; incontanente vedesi deviare l'ago del moltiplicatore. 2. Saldando agli estremi del filo del moltiplicatore un filo di rame ricurvo, e si faccia passare da diritta a manca del moltiplicatore, e viceversa; ben tosto scorgesi la stessa deviazione dell'ago. Questi sono stati, se non siamo mali informati, i principali risultamenti ottenuti dal Faraday (V. *la Fis. di Pèclet*).

I Signori Nobili ed Antinori praticando le esperienze nello stesso modo del Sig. Faraday osservarono nel galvanometro segni non equivoci della presenza delle correnti, nell'atto dell'introduzione del cilindro di ferro in quello di cartone vestito similmente. Estraendo il cilindro ottennero il movimento inverso. Questi sperimentatori impiegando fili di rame di differenti grossezze; avendo il più sottile mezzo millimetro di diametro, il medio 2 terzi, il più grosso 1 millimetro; viddero che gli effetti crescevano colle grossezze; dappoichè il primo dette loro le deviazioni di 2 a 4, il secondo di 4 a 8, il terzo di 10 a 20. Il galvanometro che adoperarono era *sensibilissimo*. (*Ant.* N. CXXXI).

Ripresero molti mesi dopo un corso compiuto di esperienze sulla forza elettro-motrice, ideando questi nuovi esperimenti su di una scala piuttosto estesa; giacchè avvolsero delle spirali di 10 a 12 piedi di diametro intorno a gran cerchi o tamburi a bella posta costruiti. Ma tutti i tentativi fatti da questi diligenti sperimentatori con accuratezza grandissima per accrescere l'intensità delle correnti, non ottennero un risultamento più forte di 20 a 210. E lo dette loro una spirale di 25 a 30 giri avvolta d'intorno ad un gran cerchio, come di sopra si è detto, il quale era imperniato sopra due sostegni, perchè si potesse facilmente rovesciare quando si voleva scorgere la presenza della corrente. Nè può mettersi in dubbio la precisione di siffatto risultamento, avendo eglino avuto riguardo a tutte le disposizioni degli elementi, che costituiscono le spirali elettro-dinamiche, cioè 1. alla grossezza del filo, 2. alla larghezza o diametro delle spire; 3. infine al numero di queste spire dipendenti dalla lunghezza del filo impiegato. Nondimeno si vuole osservare che ne' 200 è compreso l'effetto delle due correnti *riprodotta* che risulta togliendo la spirale dell'influenza del ma-

gnetismo terrestre, l'altro la *prodotta* che si sviluppa sulla spirale allorchè ritorna, rovesciata, a risentire l'azione dello stesso magnetismo fatta in un sol tempo; dimodocchè l'effetto di una sola delle due correnti risponde a più di 10°, eseguita nella metà del tempo, e facendo fare alla spirale un quarto di giro. De' due galvanometri adoperati uno fu *sensibilissimo* a due aghi, quello del *termo-moltiplicatore*, l'altro molto meno delicato ad un ago solo il *comparabile*: si avvalsero del primo per le piccole spirali, del secondo delle spirali più grandi. (*V. Mem. del Nobili pag.* 244).

Il Sig. Ab. Fazzini otteneva i simili fenomeni d'induzione prendendo un cilindro di ferro dolce *ab* (fig. 1 tav. A), lungo 32 centimetri avente il diametro di 33 millimetri, ed il peso di circa 2 chilogrammi. D'intorno a detto cilindro *ab* avvolgeva *direttamente* un filo di rame 100 metri lungo, e del peso 1200 grammi, e due rotelle di ottone erano conficcate nel cilindro per sostenere il filo spirale. Congiungeva gli estremi fili *mn* dell' elica coi fili di un galvanometro costruito dal *Pixii*, e girando, col manubrio di legno *ed*, il cilindro *ab* in semicerchio da settentrione a mezzo giorno, e *viceversa*; in modo che al principio non che alla fine di ogni semirivoluzione l' asse fosse perpendicolare, o poco inclinato alla superficie della terra. La deviazione che ottenne con l'ago del galvanometro fu di 15 a 20°; e dopo poche mosse del cilindro di 55 a 60°. Sono questi gradi percorsi dall' ago or dall'una or dall' altra parte del *o* delle divisioni, secondo i movimenti del cilindro. Dal che scorgesi che per la prima azione, eseguita nella metà del tempo la misura dell' intensità della corrente è di $7\,{}^1/_2$ a 10°.

Per ottenere immediatamente dal globo le correnti d' induzione senza l' aiuto del ferro dolce, adoperava un cilindro di legno 22 centimetri lungo, e 18 di diametro; alle basi del cilindro vi erano incollati due fondi di legno ciascuno di 25 centimetri di diametro, dovendo essi sostenere il filo di rame vestito di seta, ch'era avvolto intorno al cilindro medesimo. La fig. 2 tav. A è l'apparecchio da lui adoperato. Il filo era lungo 190 metri, e di peso circa 2 chilogrammi. Fatta nell'istesso modo la comunicazione dell'elica coi fili dello stesso moltiplicatore, e girando il cilindro, come sopra, l'ago deviò da 10 a 15°; e dopo poche mosse del cilindro le oscillazioni dell' ago or dall'una or dall' altra parte dello *o* giunsero a 25 in 30°. Per maggiore esattezza dell' esperimento unse il cilindro con vernice rossa, e rimosse ogni pezzo di ferro comunque picciolo.

Agli elementi descritti vi aggiungeva di poi un altro cilindro di ferro dolce *c*, di diametro come il primo, collocato perpendicolarmente di sotto, avendoli disposti in modo che il cilindro *ab*, movendosi andasse or coll'una or coll'altra estremità lievamente toccando il cilindro *c*. Questa felice idea, cioè d'aver accresciuto la massa di ferro, faceva notabilmente aumentare l'intensità delle correnti, dappoichè si vedeva l'ago non più segnare 15 a 20°, come si è detto dianzi, ma si 25 a 30°, e subitamente giungere alla massima escursione di 95 a 100° (*V. Pol. Pit. n. 30*).

Prendeva inoltre un cilindro di ferro fatto a lamina e vuoto nell'interno, e di maggior dimensione, cioè lungo metro 1. 32mm, e di diametro metro 1; ma i risultamenti ottenuti non furono troppo felici, perchè non ebbe che piccole deviazioni dell'ago. Potè quindi conoscere dietro tutto ciò che si è esposto, che volendo ottenere correnti energiche affinchè si potessero conseguire gli altri fenomeni d'induzione, bisognava assolutamente aver bisogno d'una sufficiente massa di ferro, nulla giovando la superficie. Ingrandiva a tale oggetto le dimensioni del cilindro di ferro facendolo tutto pieno, avente la lunghezza di 60 centimetri, del diametro 40 millimetri, ed avvolgendovi un' elica di 180 metri di lunghezza, ottenne che l'ago giunto a 180° a seconda dei movimenti del cilindro, una volta che là perveniva, se si seguita a muovere il cilindro coll'avvertenza di alternarne il movimento ogni volta che l'ago compie la semicirconferenza, allora la rotazione dell'ago diventava continua, e non cessò che col cessare il movimento del cilindro, o agitandolo in senso contrario.

1. Riconoscea così che si possono indurre nei fili di una spirale elettro-dinamica correnti di *qualche forza* per mezzo delle successive separazioni, e composizioni, le quali, negli alterni movimenti di un cilindro di ferro, va soffrendo il naturale magnetismo.

2. Il fenomeno di rotazione continua riproduce sotto altra forma quello del Faraday: il quale mercè le correnti della pila Voltiana fa girare il cilindro calamitato intorno ad uno dei fili conduttori.

3. Sparge senza dubbio molta luce sulle teoriche del magnetismo in moto.

4. Apre la strada agli altri fenomeni d'induzione, vale a dire, scintilla, scossa, lampo, e siffatti; delle quali cose si stava occupando, ed erano vicini al termine gli altri *apparecchi* in ferro dolce da lui ordi-

nati. Ma gli venne meno il tempo di far compiere questi apparecchi onde menar ad effetto i fenomeni indicati.

Viene rappresentato dalla fig. 3 tav. A uno degli apparecchi che il Fazzini non potè veder compiuto, e che poi da noi si è fatto, avendone ottenuto il disegno, e vari pezzi. La colonna *a* col piede è di legno, il resto è tutto di ferro *forgiato*, meno il cilindro *ab*, ch' è di ghisa ben tornito, il quale viene nella terza parte del mezzo coperto di un filo di rame vestito di seta. La traversa *ed* sostiene il cilindro *ab* mercè due pezzi, di uno de' quali la pianta è in *e*. Il metodo di sperimentare è facilissimo; poichè basta porre in comunicazione i fili congiuntivi d' un galvanometro con quelli dell' elica, di tener il cilindro *ab* nella posizione, che mostra la figura o poco inclinato, di muovere leggermente il manubrio *m* di di modo che il cilindro compia la semirivoluzione, nel modo descritto che bentosto si osserva sul ago del galvanometro la presenza delle correnti. Le prime spirali che abbiamo allogate sul cilindro dell' apparecchio da noi compiutamente eseguito, sono stati di 5 giri, il galvanometro adoperato non è stato tanto sansibile, e pure le diviazioni dell' ago sono corrisposte a 45° Movendo 4 in 6 volte il cilindro, si è ottenuto il giro continuo; e la forza delle correnti è stata tale, che appena l' ago è pervenuto a 18°, e si è cessato il movimento, l' ago ha per corsi 4 a 5 giri interi.

Ora da tutte le esperienze addotte risulta, che la scienza possiede oggi il modo più semplice di ottenere correnti; tanto più che il magnetismo terrestre è sparso dapertutto, variando solamente d' intensità, secondo la diversa latitudine. Resta ora a rintracciare gli altri fenomeni d' induzione che potrà dare questo magnetismo, che il Faraday, Pixii, Nobile ed Antinori hanno ottenuto con forti calamite. Le quali cose sono possibili, stante che si conosce ora il mezzo d' ingrandire la forza delle correnti. A quel che pare, non rimangono che delle difficoltà d' esecuzione da superare. In quanto a noi avendo tentato la decomposizione dell' acqua coll' apparecchio della fig. 3, il quale ben adempie al rapido movimento tanto necessario per la pronta decomposizione e ricomposizione del fluido magnetico, ci è riuscito ottenerne qualche segno. Nuovi apparati abbiamo immaginati che speriamo voler corrispondere alle nostre aspetta-

tive. Nel principio del venturo 1841 speriamo sia pronta la pubblicazione di alcuni primi lavori su questo genere di ricerche.

Pag. 253. (13) Questo apparecchio suol avere alle volte la calamita disposta orizzontalmente. Nuove modifiche a quest'ora avrà pur fatto il Clarke, perchè tanto ci assicurava a voce, ma una giusta nostra discretezza, non permise allora dimandarle.

Bisogna ancora notare che oltre di questo apparecchio, e di quello del Pixii, vi è l'altro de' Sig. Nobili ed Antinori intitolato da essi calamite coniugate. L'occasione d'aver visto mettere in opera nel laboratorio del Pixii l'apparecchio di suo figlio, l'occasione di aver sempre sotto l'occhio gli altri del Clarke, e del Nobili, ci fa notare essere quello del Clarke superiore agli altri due. Si potrà leggere con molto successo il confronto tra l'apparecchio del Pixii e quello del Nobili, riscontrando il secondo volume delle memorie di questo ultimo, pag. 65; come pure consigliamo i giovani leggere il 1. vol. dalla pagina 207 e seguenti, ove si attingeranno molti lumi sulla forza elettro-motrice del magnetismo.

Pag. 254. bis (13) Una delle scoperte che onora assai il secolo nostro, e che ha eccitate tante vive discussioni tra i fisici d'Europa è quella del magnetismo in moto; commendevole è pure per l'ingegnoso apparecchio ideato dallo stesso Arago, ed eseguito dall'abile orologiaro Sig. Perrelet. Coloro, che non hanno l'opportunità di vedere i fenomeni che la macchina suddetta tanto esattamente adempie, potranno averne una tal quale idea usando una macchinetta che si costruisce in Francia fin da che ebbe origine la scoperta, la quale alla sua poca spesa unisce il vantaggio di servire anche alla dimostrazione del cambiamento di figura cagionata dalla forza centrifuga. La fig. 26 tav. 1. tom. 1 ne dà una chiara immagine, se al cerchio di acciaio *ab* ed all'asta *c*, s'intende sostituito tutto il pezzo *xlgg't* della fig. 442.

Pag. 257. (14) Qui per le stesse ragioni indicate nel principio della nota 12 portiamo il pregio riferirne alcune esperienze.

Da ciò che ha osservato il Faraday risulta, che se un disco di rame girante si situi nel meridiano magnetico, e roti in un piano orizzontale, la sua re-

tazione non produce nessuna deviazione sull' ago del galvanometro ; ma laddove il disco si dispone in un piano per qualche grado inclinato a quello del meridiano magnetico, si comincia a vedere lo sviluppo di elettricità , la quale cresce al crescere l' angolo d' inclinazione. Il massimo sviluppo dell' elettricità è di 90°. Di modo che vedesi che il disco rotante è trasformato in una macchina elettrica , la qual differisce dalla macchina ordinaria , solo che la prima è di materia più deferente , e la seconda di materia coibentissima. (*An. di Ch. e di Fis. 1832 p. 118*).

Inoltre ha notato il Sig. Faraday che se il rammentato disco girante fosse sottomesso all' azione di due poli magnetici contrari , situati nel piano di rotazione e nella direzione di uno stesso diametro , si produrrebbero delle correnti dirette secondo i diametri , e il di cui senso dipenderebbe da quello della rotazione. Ora essendo la terra una gran calamita, e la sua azione potendo essere assimilata a quella di due poli magnetici diretti secondo la linea d' inclinazione , chiaro risulta che , se si fa girare un disco intorno ad una linea perpendicolare al suo piano , alla linea di inclinazione , e nel meridiano magnetico, si debbono produrre delle correnti nel disco , che potranno di leggieri essere osservate approssimando ai suoi orli un ago astatico calamitato. Se poi, s' inclina l' asse di rotazione , l' effetto prodotto diminuisce , e sparisce affatto quando la sua direzione va a coincidere con quella dell' inclinazione: dappoichè l' effetto dev' esser lo stesso che quando il polo di una calamita è nel centro della rotazione. Le correnti dovrebbero essere dirette secondo i meridiani , se il disco fosse rimpiazzato da un globo voto, dappoichè le correnti sono sempre perpendicolari alla direzione del movimento. Il Sig. Faraday ha verificato ancora questo fatto, ed ha riconosciuto che le deviazioni di un ago calamitato astatico erano quelle stesse che il Sig. Barlow avea riconosciuto colla rotazione di una bomba ; dimodochè non si stenterà a comprendere che questi fenomeni sono i risultamenti dell' azione induttiva della terra. *V. Péclet.*

Pag. 284. (15) Da quanto espone Pouillet sembra che l' esistenza delle correnti contrarie circolanti nell' apparecchio (*fig. 458*) quando si riscaldano le due saldature 1 e 4 di due contatti contigui, sia una conseguenza necessaria della esperienza addotta; ma ritenendo l' esperienza , perchè

vera, e ponendo mente che qualora si aggiunge la nuova traversa di rame $v\,v^1$, è come se si fussero uniti insieme due elementi; percui è chiaro che debbesi sviluppare una doppia corrente. Infatti se quattro traverse si disponessero similmente, e si venissero riscaldando ugualmente le due saldature 1 e 4, ne seguirebbe una quadrupla corrente. Ci faceva il Sig. Melloni notar questo; e ce ne siamo ancora renduti più certi ripetendone l'esperimento.

Fine delle note del secondo volume.



INDICE DELLE MATERIE

DEL SECONDO VOLUME.

LIBRO TERZO

Magnetismo ed Elettricità.

PRIMA SEZIONE

Del Magnetismo

CAPITOLO I.

Dell' azione delle calamite sopra sè stesse e sulle sostanze magnetiche.

CAPITOLO II.

Dell' azione magnetica della terra.

CAPITOLO III.

Leggi generali del magnetismo.

CAPITOLO IV.

Processi di calamitazione.

SECONDA SEZIONE.

Elettricismo.

CAPITOLO I.

Delle azioni elettriche.

CAPITOLO II.

Elettricismo per influenza.

CAPITOLO III.

Legge delle forze elettriche.

CAPITOLO IV.

Dell' Elettricità dissimulata.

CAPITOLO V.

Luce elettrica e moto de' corpi elettrizzati.

CAPITOLO VI.

Elettricismo sviluppato dalla pressione e dal calore.

TERZA SEZIONE.

Galvanismo

CAPITOLO I.

Dell' elettricismo sviluppato pel contatto.

CAPITOLO II.

Pila del Volta.

CAPITOLO III.

Pila Secca.

QUARTA SEZIONE

Elettro-Magnetismo

CAPITOLO I.

Dell' azione delle correnti sulle correnti.

CAPITOLO II.

Azione della terra e delle calamite sulle correnti.

CAPITOLO III.

Dell' azione delle correnti sulle correnti.

Teorica del Magnetismo.

Azione della terra sulle correnti.

Azione della terra sulle calamite.

Azione mutua delle calamite e delle correnti.

Azioni delle calamite le une sulle altre.

CAPITOLO IV.

Cagioni diverse che danno origine a correnti elettriche.

Azioni meccaniche.

Azioni fisiche.

Azioni chimiche.

Azioni fisiologiche e pesci elettrici.

CAPITOLO V.

Fenomeni d' induzione.

CAPITOLO VI.

Legge generale dell' intensità delle correnti elettriche.

Correnti termo-elettriche.

Correnti idro-elettriche.

Paragone delle diverse sorgenti elettriche, ec.

Fine dell' indice del secondo volume.

**

ERRATA.

PAGINE	VERSI.	ERRORI.	CORREZIONI.
7	14	sopratutto	soprattutto
8	4	, ha	ha
16	12	, cioè	cioè
ib.	36	molli	molle
17	8	traghiamo	traiamo
26	19	angolo vien	angolo che vien
29	14	*ff*	*ff'*
34	15	(3)	(2)
36	21	*ss'* colonna	*ss* colonne
37	11	aste *i* ed *i'*	N. B. manca *i'* nella fig. 266
38	16	(4)	(3)
39	37	(2)	(4)
40	23	togliesi via	tolgasi via
50	14	produce	produca
56	27	*c'a'*	*ca'*
75	6	due viti *v* e *v'*	N. B. mancano *v* e *v'* nella figura 246.
76	7	di latte d' acciaro	di latta, di acciaro
77	25	pendolo elettricità	pendolo elettrico
78	7	palle metalliche *bcb'*	N. B. mancano *b* e *b'* nella figura 280.
97	1	piatto	(*meglio*) disco
144	9	eterrogeneità	eterogeneità
157	25	eccitta	eccita
171	17	, isocrone	isocrone
ib.	22	bizzare	bizzarre
ib.	23	apparrecchio	apparecchio
173	14	, e semplicemente	, o semplicemente
176	28	cilindrico	cilindro
179	25	*emf'*	*emf*
184	3	esso	essa
190	17	scalanature	scanalatura
191	22	*y'*	*y*
193	4	nella coppa *c*	N. B. manca *c* nella fig. 374.
194	8		N. B. mancano le lettere nella fig. 375.
196	37	*ab*	N. B. mancano *ab* nella fig. 375
197	34	*zz'*	N. B. mancano *zz'* nella fig. 380.
232	16	altra	altro
237	14	del Rè	di Rè
239	27	le radice	la radice
241	21	piede	piedi
247	23	moltissima	moltissimo
253	8	il pezzo *u*	N. B. manca *u* nella fig. 439.
254	17	(13)	bis (13)
260	36	il peso *p*	N. B. manca *p* nella fig. 449.
267	31	questi	queste
279	35	commodissimo	comodissima
304	12	dimenzioni	dimensioni
330	27	18°	180°

Fine dell' errata del secondo volume.

Fig. 254

Fig. 259.

Fig. 242.

Fig. 245

Fig. 247.

Fig. 248.

Fig. 251.

Fig. 250

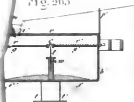
Fig. 249

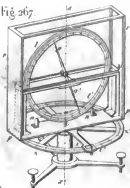
Fig. 254

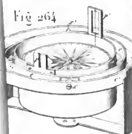
Fig. 255.



Vr Le Blanc Sculp.



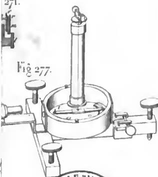


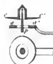










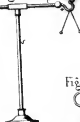




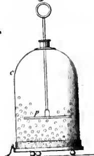
F.^r Le Blanc Sculp.



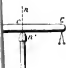












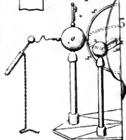


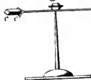














V.e Le Blanc Sculp

Fig. 318. Fig. 319. Fig. 324. Fig. 325.

Fig. 330

Fig. 329. Fig. 334.

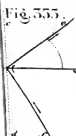
Fig. 339. Fig. 340. Fig. 349.

Fig. 341. Fig. 352. Fig. 350.

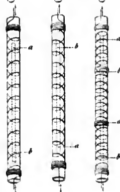
Fig. 348

Vve Le Blanc. Sculp.

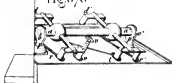


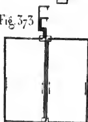


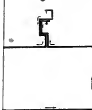


















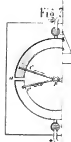






Le Blanc Sculpt.

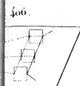


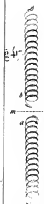
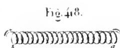


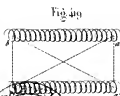


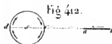










V. le Blanc Sculp

Fig. 427.

Fig. 442.

Fig. 439.

Fig. 436

443.

444

Fig. 445.

V^e Le Blanc Sculp

Fig. 448.

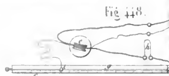


Fig. 449

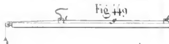


Fig. 451.



Fig. 456.

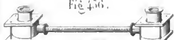
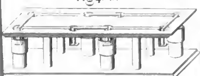


Fig. 457



Fig. 458.





460.



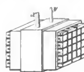


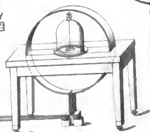
Fig. 459.

462bis

Fig. 465.







467.



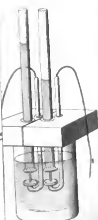


Fig. 468.



Vve Le Blanc Sculp





